الحماية الكاثودية لخطوط المواسير

Cathodic Protection Of Pipline

المؤلف

مارشال - أي - باركر

ترجمة مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

الحماية الكاثودية لخطوط المواسير

Cathodic Protection Of Pipline

المؤلف

مارشال – أي - باركر

ترجمة

مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

رقـم الإيـــداع: ١٩٩٤ / ٢٠٠٥
الترقـيم الدولــى: ٣ - ٤٨٧ - ٢٨٧ - ٩٧٧

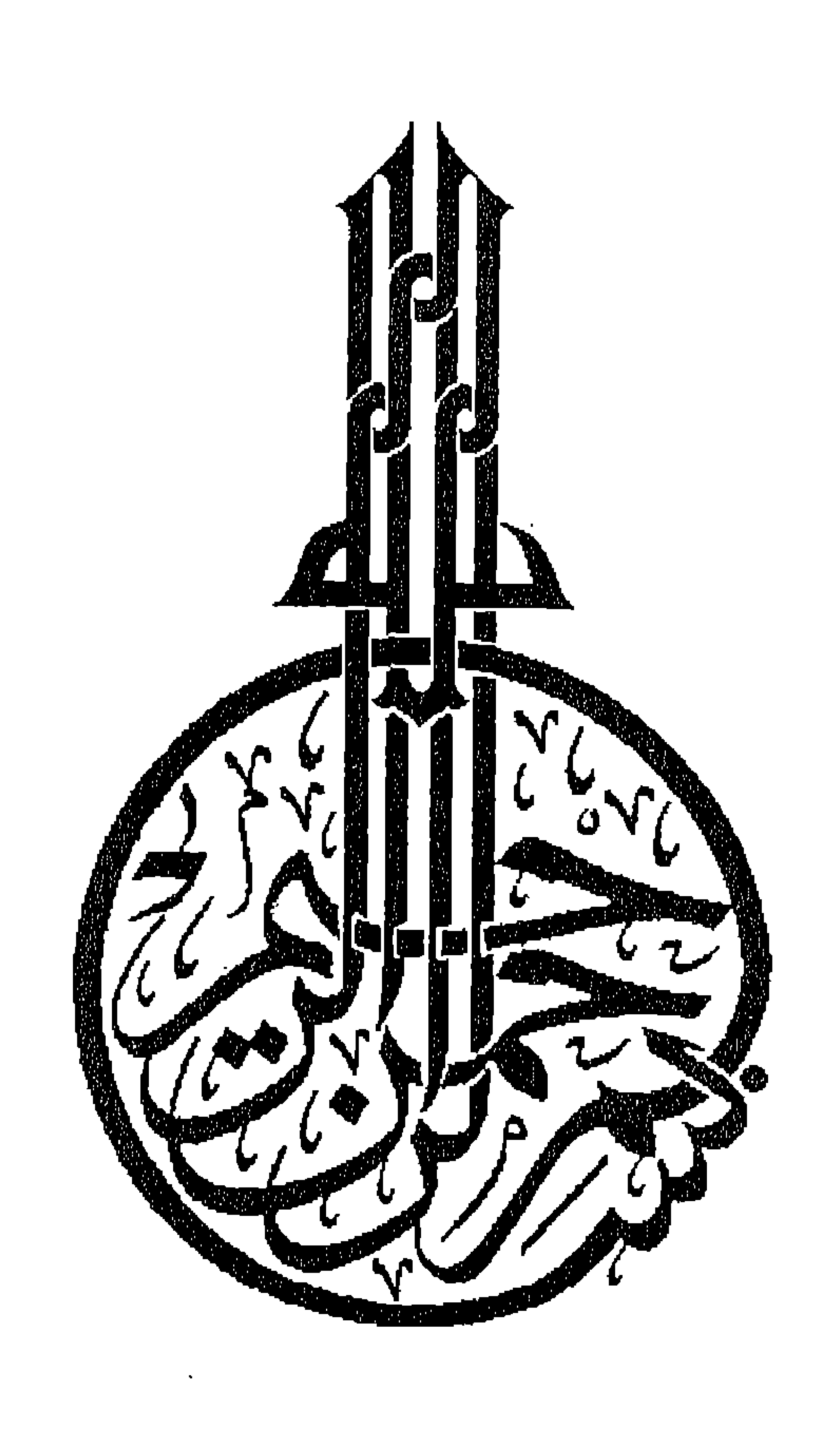
دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥٠ شارع الشيخ ريحان - الدور الأول - شقة ١٢

عابدين - القاهرة ☎: ٧٩٥٤٢٢٩

E-Mail: sbh@link.net

www.sbheg.com


بسم الله الرحمن الرحيم

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم الكتاب:

الحماية الكاثودية هي من التقنيات المتطورة لحماية المنشآت المعدنية من التآكل والتلف، والذى له عائد اقتصادي نحو المحافظة على استمرار صلاحية خطوط المواسير الحاملة للبترول أو الغاز أو الماء المدفونة تحت سطح الأرض . الحماية الكاثودية تتطلب تغذية المنشأ المعدني بتيار مستمر أو بأنودات نشطة، ولهذا فإن تخصص مهندس الحماية الكاثودية قد يكون مهندس كهرباء أو مهندس كيماوي أو كيماوي أو ذو تخصص آخر . وفي جميع الحالات فإن المعرفة العلمية بتقنيات الحماية الكاثودية وإن كانت مطلوبة إلا أن الممارسة العملية واكتساب الخبرة هي من العوامل الأساسية لنجاح توفير الحماية .

الحماية الكاثودية تتم لجميع المنشآت المعدنية سواء فوق سطح الأرض أو تحت سطح الأرض أو في مياه البحر. وفي هذا الإصدار تم تناول موضوع شديد الأهمية وهو حماية خطوط المواسير تحت سطح الأرض، حيث تختلف عدوانية التربة من مكان إلى آخر . الحماية الكاثودية تتم مع بعض طرق الحماية الآخرى ومنها التغطية للأسطح الخارجية بمواد التغطية للحماية من التآكل وكذلك مراعاة الاعتبارات الهامة نحو التصميم الهندسي للخطوط وتفادي التربة شديدة العدوانية ما أمكن وهكذا .

وقد تم في هذا الإصدار تناول الحماية الكاثودية لخطوط المواسير تحت السطح الأرضي في أثني عشر فصلا حيث شمل المحتوى لهذا التخصص من قياسات لجهد التربة والتيارات الكهربية واحتياجاتها ونظم تعديل التيار والقواعد التصميمية لطبقة الآنودات الأرضية والتيارات الشاردة وأثرها على الحماية الكاثودية وكذلك أعمال الرصد والتشغيل والتفتيش والصيانة للخطوط ومعدات وتجهيزات الحماية الكاثودية .وكذلك تم تناول الحماية الكاثودية لخطوط المواسير تحت سطح البحر والمواسير الخرسانية . والدافع لهذا الإصدار هو إثراء المكتبة العربية بالتقنيات الحديثة في مجال الحماية الكاثودية .

مُقدِّمة

١ـ أساسيات تآكل المعادن المدفونة تحت سطح الأرض:

الحماية الكاثودية لخطوط المواسير نعنى بها حماية خطوط المواسير المدفونة تحت سطح الأرض من التآكل والتلف والذى يترتب على حدوثه خسائر كبيرة . وقبل أن نتناول الحماية الكاثودية من الناحية النظرية والتطبيقية فإنه يلزم التعرف على نظريات وحالات حدوث التآكل للمواسير المعدنية المدفونة تحت سطح الأرض .

تآكل المعدن هو عبارة عن تكوين مركب كيماوي والذي تكون ذرة المعدن جزء من مكونات هذا المركب . الشيء الهام من وجهة نظر التآكل ليس هو تكون المركب أو طبيعة هذا المركب ولكن المهم هو حدوث الإذابة للمعدن . وهذه هي الخطوة الأولى والتي يجب تتبعها، حيث أن هذا يمكن من خلاله إيقاف عملية التآكل إن أمكن إيقاف عملية الإذابة هذه .

كل معدن له استعداد في وجود الماء أن يتحول إلى المحلول إلى درجة ما، هذا بالإضافة إلى أنه يجب معرفة أن الماء موجود دائماً ولو بكميات صغيرة في أكثر أنواع التربة جفافاً .

عملية تحول أصغر جزء من المعدن إلى المحلول يمكن وصفها كالآتي :

توجد ذرة المعدن والتي تكون جزء من بناء المعدن كذرة بدون شحنة كهربية، الطريقة الوحيدة لإمكان دخولها في المحلول هي أن تصبح أيون، وهذا يمكن فقط في خالة الحصول على شحنه كهربية موجبة من أى مصدر. حيثما يوجد الماء فإنه يتأين ألى حد ما أى أنه ينفصل إلى أيونات هيدروجين موجبه (H^+) وأيونات الإيدروكسيد سالبة الشحنة (OH^-) . يمكن لذرة المعدن أن تقتنص شحنة موجبة من أيون الهيدروجين، وبذا تتحول إلى أيون المعدن وبالتالي تتحول إلى المحلول . ما يتم بعد ذلك، ومدى سرعة التفاعل وإلى أى حد، كل ذلك يتوقف على عدة عوامل كثيرة، ولكن هذه هي الخطوة الأولى ذات الأهمية الكبيرة، لأنه في حالة إمكان عدم حدوثها فإنه يمكن إيقاف التآكل .

تختلف المعادن في سرعة اقتناصها للشحنات، ولذا فإن بعض المعادن يمكن أن يأخذ شحنات من معادن أخرى . فمثلا الحديد، يأخذ بسهولة وبسرعة الشحنات الموجبة من أيونات النحاس، لذلك فإن قطعة الحديد الموضوعة في محلول كبريتات النحاس تتحول بسرعة إلى المحلول، ويرسب معدن النحاس (الأيونات التى فقدت شحنتها لا يمكنها الاستمرار في المحلول). الاستعداد السيئ للمعادن المختلفة لاقتناص الشحنات موضح في التسلسل لجهد المعادن الموضح في الجدول البند (٢) .

الفرق بين الجهد الموضح في التسلسل لمعدنين هو توضيح تقريبي للفولت الذي سوف يحدث بين قطعتين منهما عند وضعهما في محلول له قدرة توصيل كهربي، أي الذي يحتوى على أيونات . الفولت (فرق الجهد) الحقيقي الناتج يتوقف على نوع المحلول، التركيز، درجة الحرارة، وعوامل مختلفة أخرى . عند توصيل قطعتي المعدن بموصل كهربي، فإنه سوف يحدث تدفق للتيار، وأحد هذين المعدنين سوف يتآكل، هذا هو الذي يتدفق من التيار إلى المحلول، وهو ما يعرف بالأنود (Anode) . المعدن الآخر يسمى الكاثود (Cathode) لا يحدث له تآكل في هذه العملية . أي أن الآنود يتآكل والكاثود لا يتآكل . تتوقف كمية التآكل على الكمية الكلية لسريان التيار، أي على قيمة التيار والوقت . سريان التيار بالتالي يتعين بفرق الجهد والمقاومة الكلية للدائرة . والتطورات التالية، مع استمرار التآكل هي عادة التغير في الجهد (بتغير طبيعة المحلول وطبيعة سطح المعدن) وكذلك مقاومة الدائرة (ما التغيرات في المحلول وبالطبقات المتكونة على الأسطح). فرق الجهد عندئذ يمكن فقط أن يعطي البيان عن الاستعداد الأولى للتآكل .

هذه الآلية التي تم توضيحها باختصار هي شرح للتآكل الجلفني – (Galvanic Corrosion - or Bimetallic Corrosion) ، حيث يكون معدنين مختلفين متصلين بموصل كهربي وموضوعين في تربة موصلة أو ماء . لقد سبق أن أوضحنا أن جهد المعادن يتأثر بعوامل خلاف طبيعة المعدن . هذا يعني أنه يمكن عمل خلية تآكل حيث كلا القطبين من معدن واحد، وهذا هو نوع الخلية الذي هو السبب الرئيسي في حدوث التآكل تحت سطح الأرض .

بالإضافة إلى خلية المعدنين المتصلين كهربيا (Bi - Metallic Cell) التي سبق شرحها فإنه توجد كذلك خلية التركيز (Concentration Cell) ، حيث يكون الفرق في المحلول (الإلكيترونيت) ذلك بسبب اختلاف التركيز للمواد المذابة في نقطتين الملتصقتين بقطعة المعدن الواحد . عموما المعدن الملتصق بالمحلول الأكثر تركيزا سيكون هو الآنود (الذي يتآكل) بينما الآخر سيكون الكاثود (الذي لا يتآكل).

قطعة المعدن الواحد تكون كلا القطبين (2 Electrodes) وكذلك دائرة التوصيل الكهربي، أسفل سطح الأرض، يحدث هذا النوع من الخلايا عندما يكون المنشأ مثل خط الأنابيب يقع بين نوعين مختلفين من التربة . كما أنه يمكن أن يحدث عند الالتصاق بتربة مختلطة حيث في هذه الحالة تكون الآنودات والكاثودات قريبه من بعضها جدا .

نوع آخر من الخلايا الذي يسبب التآكل تحت سطح التربة أو خلية اختلاف التهوية أو خلية اختلاف تركيز الأكسجين (Differential Oxygen or Aeration cell). يحدث هذا عندما يتعرض جزء من المنشأ المعدني للهواء أفضل من الجزء الآخر، حيث يكون الجزء المهوا هو الكاثود، بينما الآخر حيث يقل أو ينعدم تركيز الأكسجين يكون هو الآنود (الذي يتآكل) . هذا النوع ينتج عنه تآكل في قاع الماسورة، حيث السطح العلوى أكثر عرضه للهواء من خلال التربة أعلاه، بينما ينعدم وصول الأكسجين تماما عند القاع .

عند إنشاء خط مواسير جديد، فإنه يوجد مئات بل آلاف من الخلايا من بين هذه الأنواع المختلفة والذي تكون ذات قوة وذات حجم مختلف . وهي تتطابق، حيث تضيف أو تقلل الجهد (الفولت) في تعقيدات محيرة . ولكن عند كل نقطة على سطح الماسورة يوجد إما سريان جديد للتيار إلى سطح المعدن، حيث في هذه الحالة تكون هذه المنطقة هي الكاثود، ولا يحدث شيء أكثر من ذلك أو أن يوجد سريان جديد للتيار الي سطح المعدن حيث في هذه الحالة تكون المنطقة هي الآنود ويحدث فيها التآكل . مع مرور الوقت، تحدث تغيرات؛ فبعض الآنودات الضعيفة الثابتة تصبح أولا متعادلة، ثم عندئذ كاثودات حتى تصبح مع مرور الوقت مساحات آنودية أصغر . وهذا بالتالي

كل سريان التيار الذي يجب أن يمر من ساحة الآنودات الصغيرة هذه، وهذا يعني أن معدل الفقد في المعدن أعلا منه في حالة البداية . النتيجة النهائية لهذه العملية هو الاختراق الكامل لجدار الماسورة، وبالتالي بدء التسرب من خط المواسير الجديد .

عند تغطية هذا الخط، فإن الصورة تختلف قليلا من ناحية المبدأ . فالواقع أنه يوجد بعض التلفيات في طبعة التغطية بما يمكن من وصول رطوبة التربة إلى سطح المعدن . بعض من هذه النقاط ستصبح آنودات والبعض كاثودات – والذي يتحدد طبقا للاختلافات السابق ذكرها . إجمالي سريان التيار سيكون أقل كثيرا، وبالتالي سيكون إجمالي الفقد في المعدن أصغر كثيرا؛ ولكن قد يحدث أنه عند الآنود الأكثر خطورة سيكون معدل الإختراق أكبر منه في حالة الماسورة العارية من الغطاء . خطوط المواسير التي يتم تغطيتها تكون عادة ذات مناعة ضد التآكل .

ولكن بجانب التيارات المتولدة بواسطة خلايا التآكل الطبيعية التي تم وصفها إلا أن المنشآت تحت الأرض تكون معرضه للتلف بتيارات من مصادر أخرى، والتي يحدث أحيانا مرورها خلال التربة .

بعض من هذه التيارات يتقاطع بواسطة المنشأ وحيثما تترك سطح المنشأ إلى التربة فإنه يحدث التآكل .

٢ـ المبادئ الأساسية للحماية الكاثودية :

في أي نوع من الخلايا الإليكتروليتية ، حيثما يكون سبب سريان التيار هو فرق الجهد الذاتي بسبب اختلاف أنواع مكونات جسم المعدن أو أن يكون سريان التيار المؤثر من مصدر خارجي للطاقة، فإن الآنودات هي التي تتآكل والكاثودات لا تتآكل. هذا المبدأ الأساسى هو المستخدم في الحماية الكاثودية، حيث يعمل كل سطح المنشأ المعرض للتآكل ككاثود وبذا لا يتآكل . ولكن عندما يوجد الكاثود فإنه يجب وجود الآنود، النهاية حيث منها يسرى التيار إلى الإليكتروليت والذي في حالة خطوط المواسير تكون التربة التي يوجد فيها خط المواسير . الآنودات يمكن أن تكون من معدن والذي هو بطبيعته آنودى بالنسبة للحديد، حيث المستخدم عادة هو المغنسيوم . أو أن تكون الآنودات من مادة أخرى – من قضبان الكربون أو الجرافيت، أو من

خردة الحديد أو الصلب، حيث في هذه الحالة يلزم مصدر للتيار الخارجي (عادة تيار ثابت) . تفاصيل التصميم كثيرة ومتغيرة ولكن المبدأ بسيط جداً .

وجهة نظر أخرى لوصف الحماية الكاثودية وهي مبنية على الخطوة الأولى للتآكل – وهي تحويل ذرة المعدن إلى أيون، وذلك باقتناصها لشحنة موجبة . في حالة توصيل سطح المعدن لمصدر كهربي سالب، حيث تتاح الشحنات السالبة بكميات كافيه، عندئذ فإن أى أيونات شاردة موجبه التى تسير في ذلك الطريق سيتم معدلتها (Neutralized)، وبذا سوف لا يوجد أى شحنات موجبة لتكوين آيونات المعدن، ولا يمكن تحول المعدن إلى حالة المحلول الكلية. بهذا تتوقف الخطوة الضرورية الأولى في التآكل، وبذا يتم إيقاف وضع حدوث التآكل كليه . هذا كذلك حماية كاثوديه، حيث يتم النظر إليها من وجهة نظر أخرى .

تسلسل جهد المعادن

ميل للتأكل عالي

المعدن	الجهد
مغنسيوم	−٢٠٣٧
المنيوم	−١,٦٦
زنك	−٠,٧٦
حديد	−٠,٤٤
قصدير	−٠,١٤
رصاص	−٠,١٣
هيدروجين	صفر
نحاس	+٠,٣٤ ك١ +٠,٥٢
فضة	+ ٠, ٨
بلاتين	+ ٢ ,١
ذهب	١, ٥+ ك١ ١,٦٨

ميل للتأكل قليل

الفصل الأول

1

الأعمال المساحية لمقاومة التربة

Soil Resistivity Surveys

الأعمال المساحية لمقاومة التربة

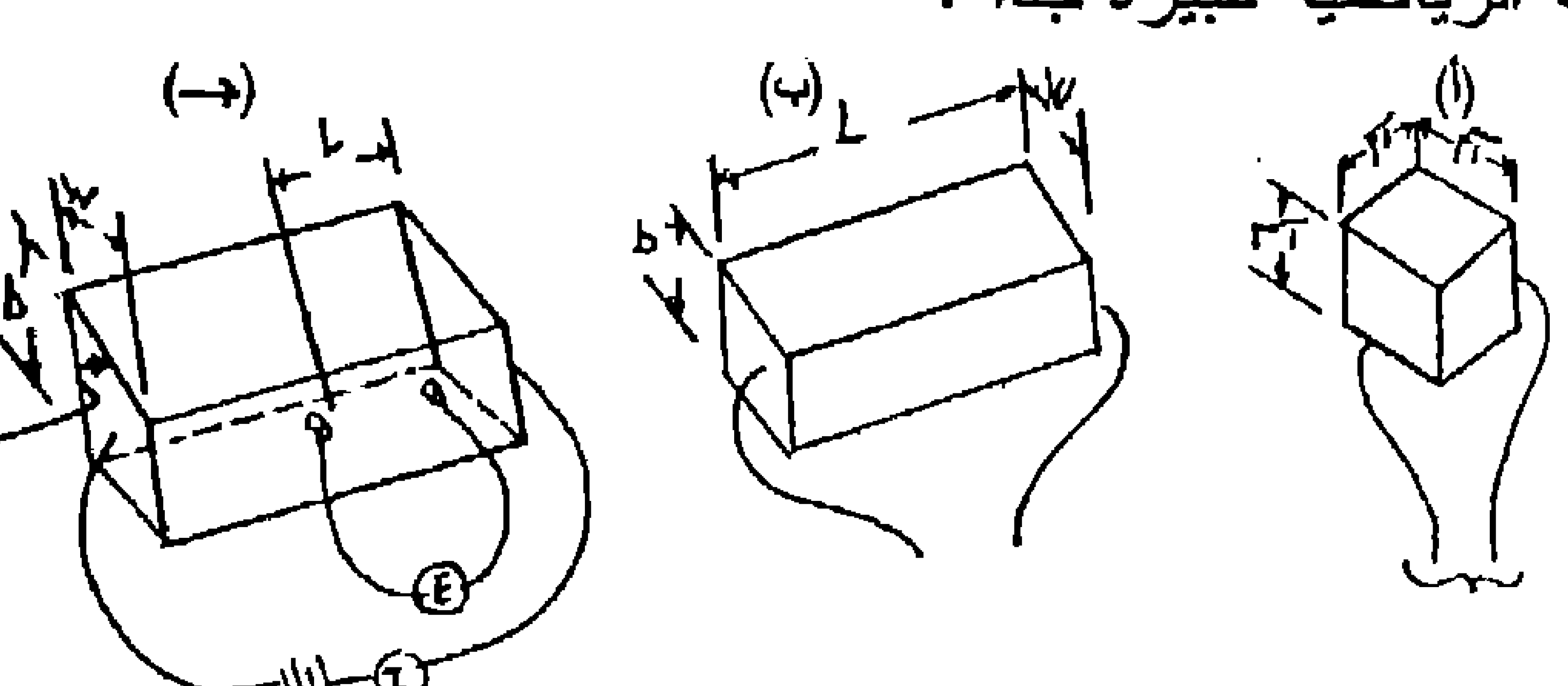
Soil resistivity Surveys

وحدات المقاومة للتربة :

وحدة مقاومة التربة يعبر عنها بالأوم – سنتيمتر (Ohm - Centimeter) ، وعادة تختصر (Ohm - Cm). مقاومة نوع معين من التربة يساوى عدديا مقاومة مكعب من التربة أبعاده ١سم، عند القياس من الوجهين المتقابلين شكل (١/١) ، أما مقاومة المستطيل الصلب بخلاف المكعب فإنها تساوى :

$$R = \frac{P x L}{W x D}$$

حيث D , L , W هي الأبعاد بالسنتيمتر كما في الشكل (١/١) ، P هي المقاومة، والوحدة يجب أن تكون أوم–سم لتكون المعادلة ثابتة . المقاومة بين أى طرفين لأى حجم أو شكل، ملتصقين بجسم التربة، لأي حد يتحدد بالعلاقة بين الحجم (Size) والفاصل (Spacing) وبمقاومة التربة . في الحالات البسيطة، يمكن حساب المقاومة، ولكن التعقيدات الرياضية كبيرة جدا .



$$R = P \qquad R = \frac{P x L}{W x D} \qquad R = \frac{P x L}{W x D}$$

المقاومة = المقاومة النوعية

(أوم) (أوم-سم)

$$P = \frac{R x W x D}{L} = \frac{E}{L} x \frac{A}{L}$$

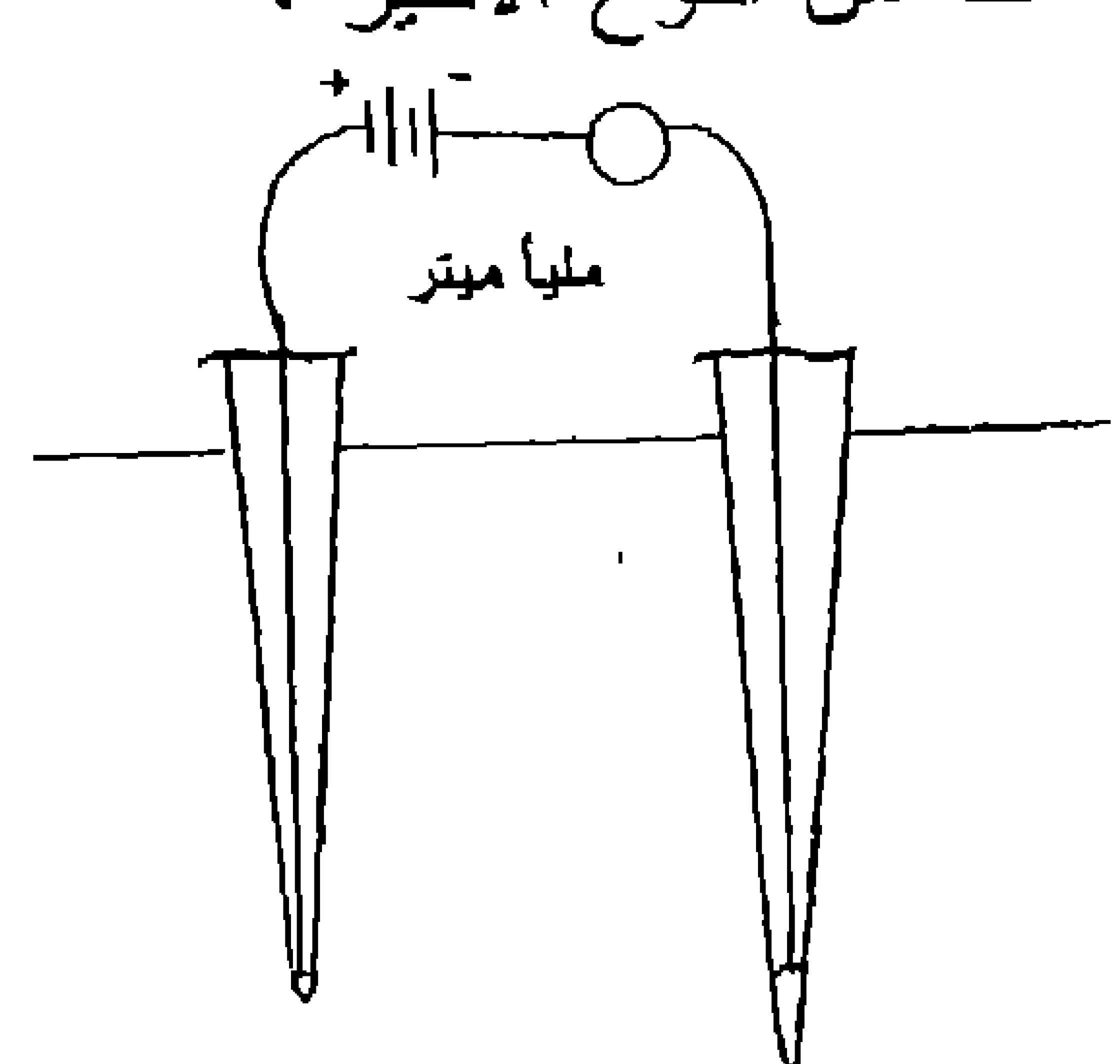
شكل (١/١):الماقومة (P) أوم-سم تساوى عدديا المقاومة (R) بالأوم ما بين الأوجه المتضادة لمكعب ١سم على الجانب .(b) هي المقاومة لمستطيل مصمت . (C) صندوق تربة حيث P يتم الحصول عليها بقياس المقاومة بين السطحين لخابورين الجهد .

تعيين المقاومة لطرفين :

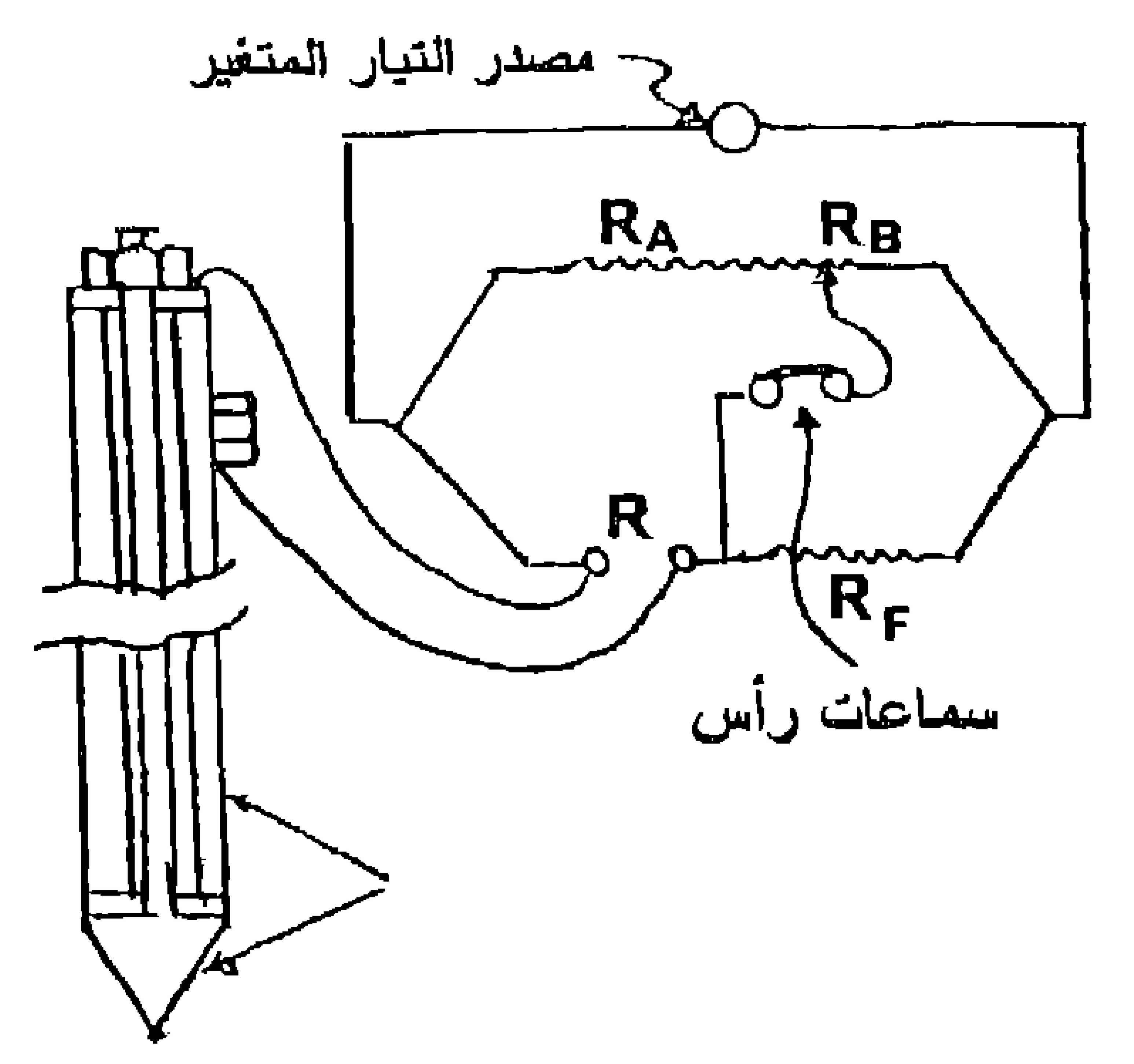
الجهاز الذي يشبه الموضح في الشكل (١/١) يمكن استخدامه لتعيين مقاومة عينات التربة، ولكن في مباحث التآكل، فإنه من المفيد قياس التربة في الموقع.

في حالة وضع طرفين في التربة، عندئذ يكون من الممكن تعيين مقاومتها بقياس المقاومة بين القطبين . في حالة وضعها قريبين من بعضهما، فإنه يكون من الضروري المحافظة على مسافة ثابتة معلومة بينهما، في حالة بعدهما عن بعض بما فيه الكفاية، فإن القيمة المعنيه تكون لا علاقة لها بالمسافة . يمكن استخدام تيار متغير أو تيار ثابت (A - C or D-C) ، ويمكن تعيين المقاومة بقياس التيار والجهد، أو بدائرة كوبرى (Bridge Circuit)، حيث تقارن المقاومة الغير معلومة بالنسبة لمقاومة في الجهاز.

الشكل (١/٢) جهاز يسمى (Shepard Canes) حيث يستخدم تيار ثابت بين قطبين من الحديد . هذا لجهاز سريع في الاستخدام، ولكن يعطى قيمة تقابل عينة صغيرة جدا من التربة المجاورة مباشرة للأقطاب. الشكل (١/٣) يوضح جهازين نوع الكبرى، هذه التجهيزه سريعة في الاستخدام كذلك، ولكنها تقيس عينة صغيرة فقط كذلك. توجد أنواع مختلفة متاحة من النوع الأخير .



شكل (١/٢) قضبان مشكله لقياس مقاومة التربة . التيار من بطارية ٣ فولت (٢بطارية تورش) تمر خلال التربة ما بين قطبين من الحديد مثبتين على قضبان معزولة . يقاس تدفق التيار بواسطة مليأمبير مزدوج المجال (Double Range) (0-25 And 0-100) مدرج لقراءة مباشرة بالأوم –سم (١٠,٠٠٠ – ٤٠٠، ٥٠٠ – ٢٠٠) . يكون الكاثود أضخم لتجنب الاستقطاب ، الدقة تكون حوالي ٦% عندما تكون النهايات بعيدة عن بعضها بثمانية بوصات . القياس، البطاريات تكون مثبتة على قضيب الآنود .

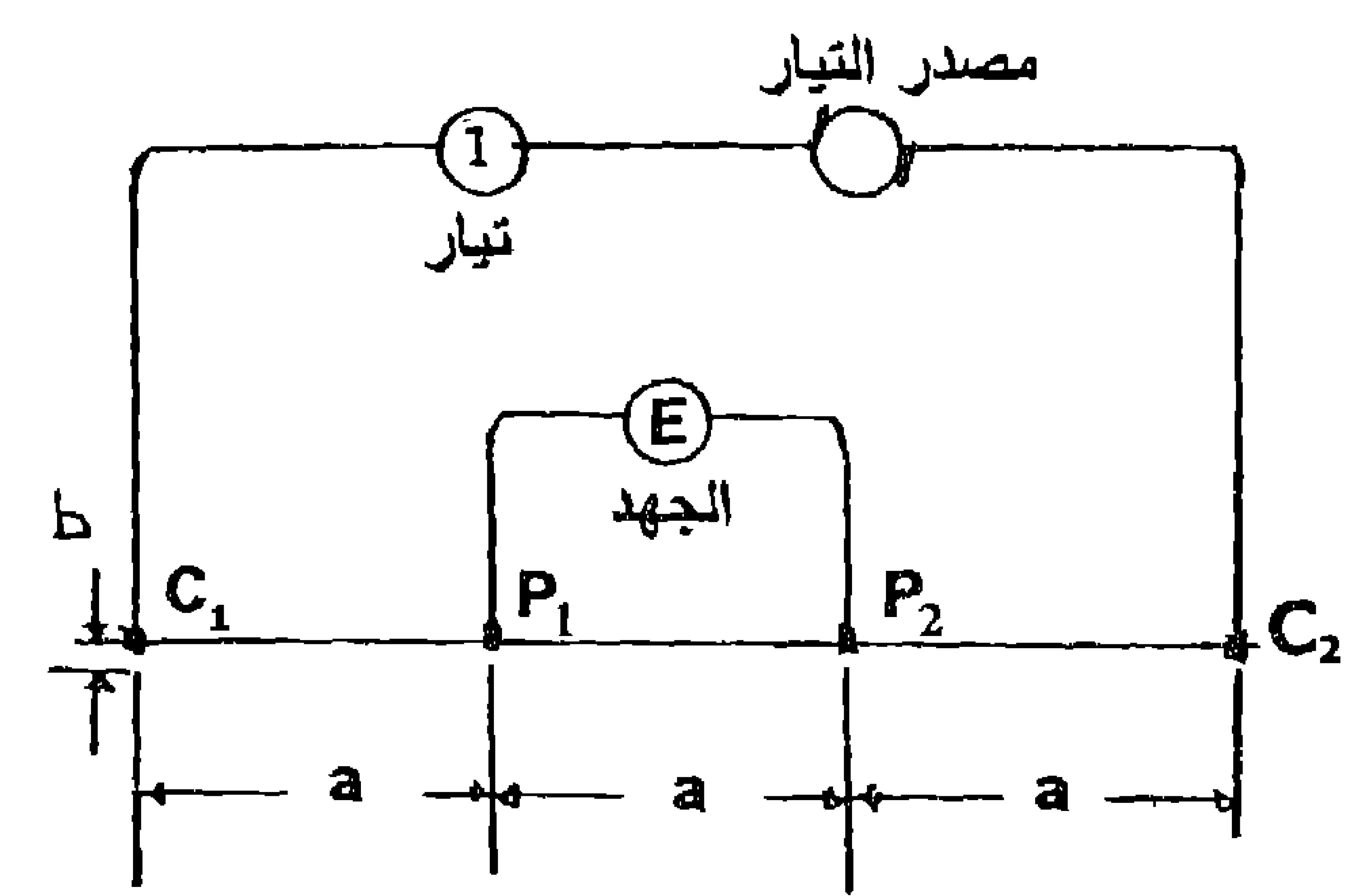


شكل (١/٣) قضيب التربة التيار المتغير . التيار المتغير من المصدر (عادة بطارية ، زنان، ومكثف) يتم تمريره خلال التربة ما بين قضيب الصلب وطرف الصلب المعزول. يتم عندئذ ضبط السلك المنزلق لحين لا يتم سماع أى إشارة في سماعة الرأس، عند نقطة الاتزان $\frac{R}{R_F}=\frac{R_A}{R_n}$ or $R=R_F\frac{R_A}{R_n}$.عمليا سلك الانزلاق R_B R_A يدرج لقراءة R مباشرة ، عندئذ $P= R \times C$ ، حيث C ثابت لقضيب معين، يتم تعيينه بالمعايرة في محلول له مقاومة معلومة

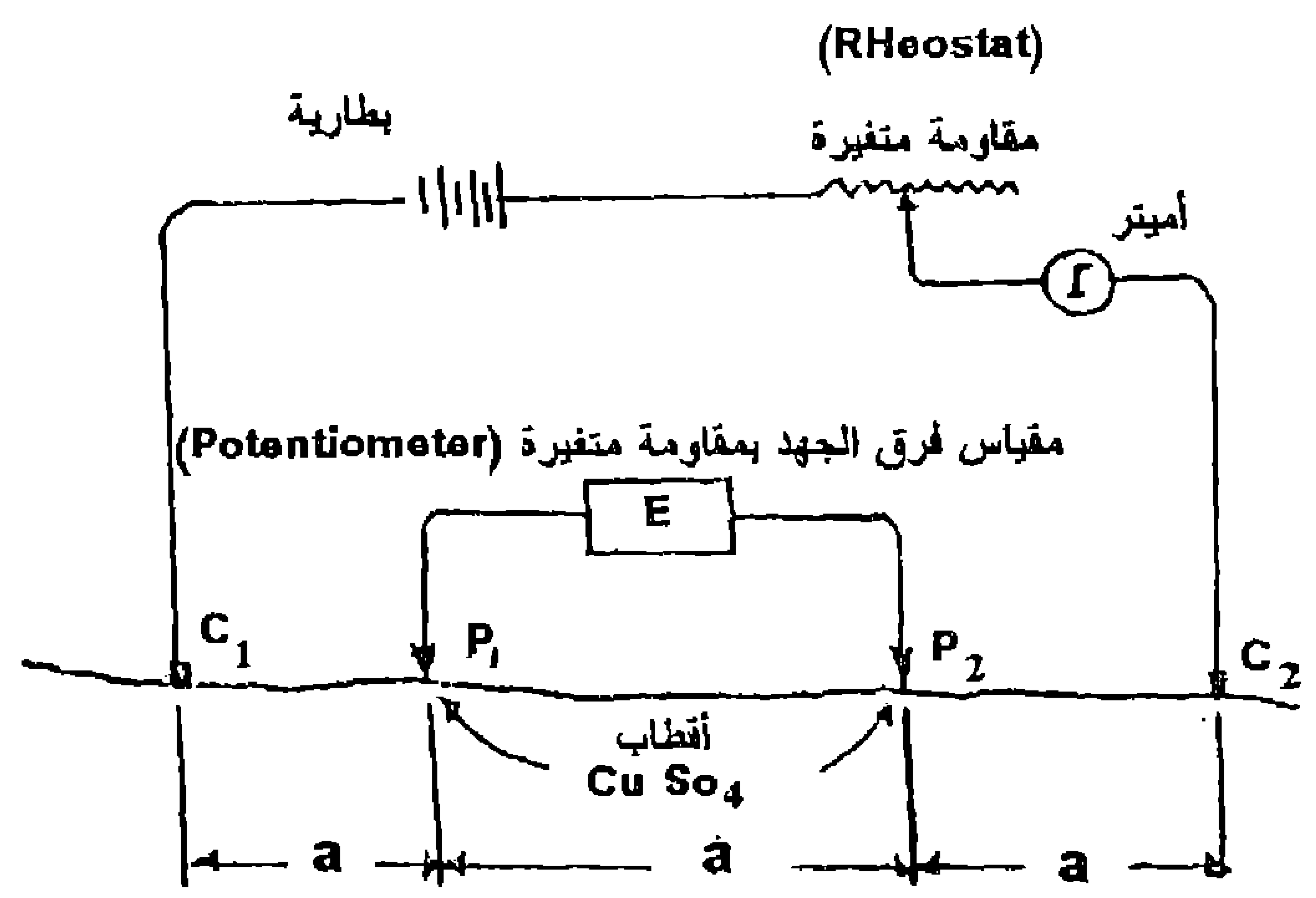
تعيين المقاومة بالأقطاب الأربع: (Four terminal Resistivity Determination)

عند الرغبة في قياس المقاومة لعينة كبيرة من التربة، وكذلك لقياس المقاومة على أبعاد كبيرة فإنه يمكن استخدام طريقة الأقطاب الأربعة أو ما يسمى بطريقة ويز (Wenner Method) . الدائرة الأساسية موضحه في الشكل (٢/٤)، كما أن الأشكال التالية أرقام (١/٥ ، ١/٦ ، ١/٧ ، ١/٨) توضح بعض الطرق المعنيه المبنية على هذه القاعدة. تفاصيل العمل تختلف طبقا للجهاز المستخدم، ولكن المبدأ واحد . يجب معرفة أن المقاومة المقاسة هي التي ما بين قطبي الجهد أو القطبين الداخليين، القطبين الخارجيين يعملا لإرسال التيار إلى التربة .

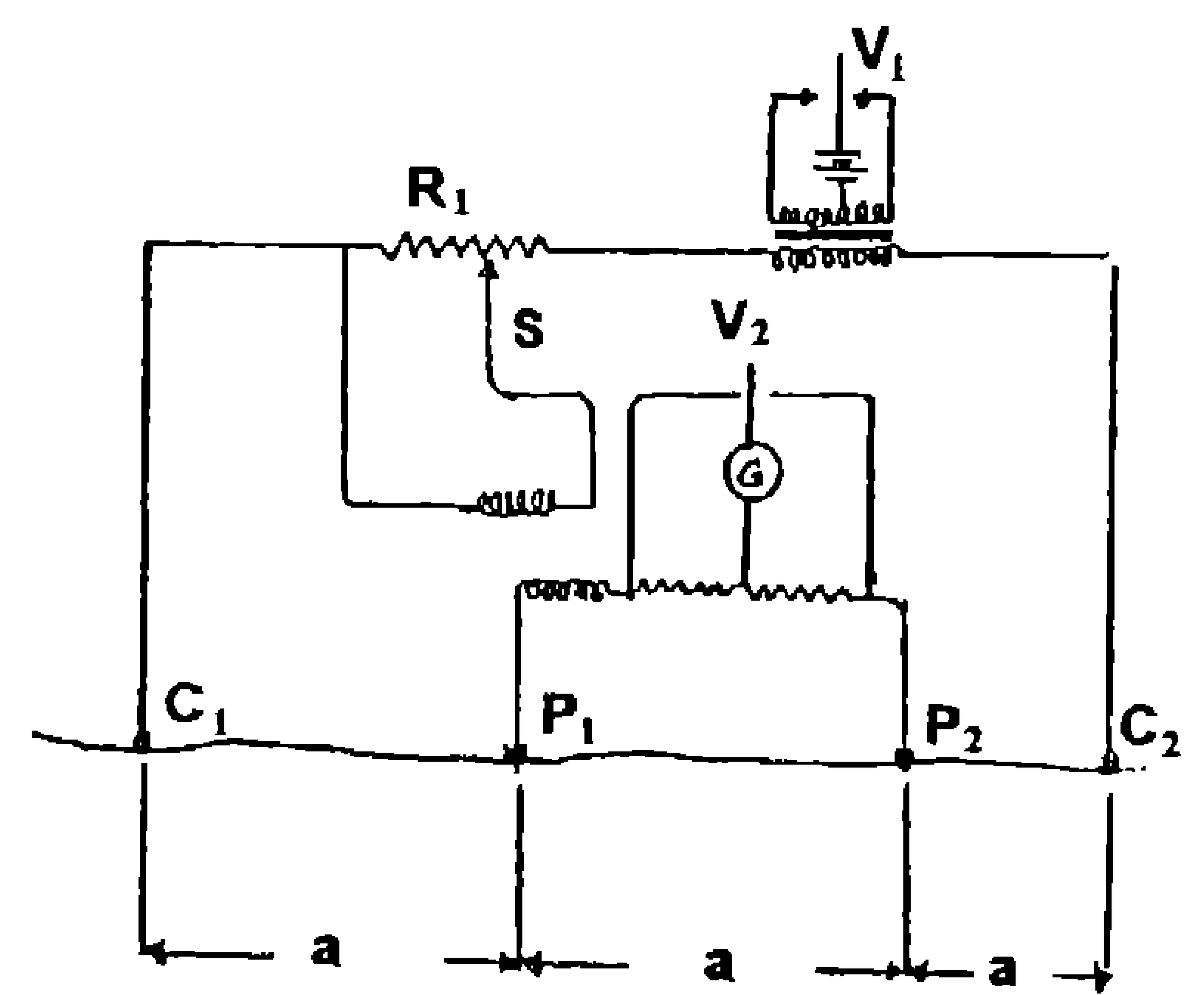
القيمة المتحصل عليها هي قيمة متوسطة طبقا للعمق المساوى تقريبا الفاصل بين الخابورين (a) ، عمليا فإنها تتأثر إلى حد ما بوضع التربة حتى عند أعماق كبيرة. لا يوجد خط تقسيم محدد، ولكن تأثير التربة على عمق أكبر وأكبر يصبح صغير أو أصغر .



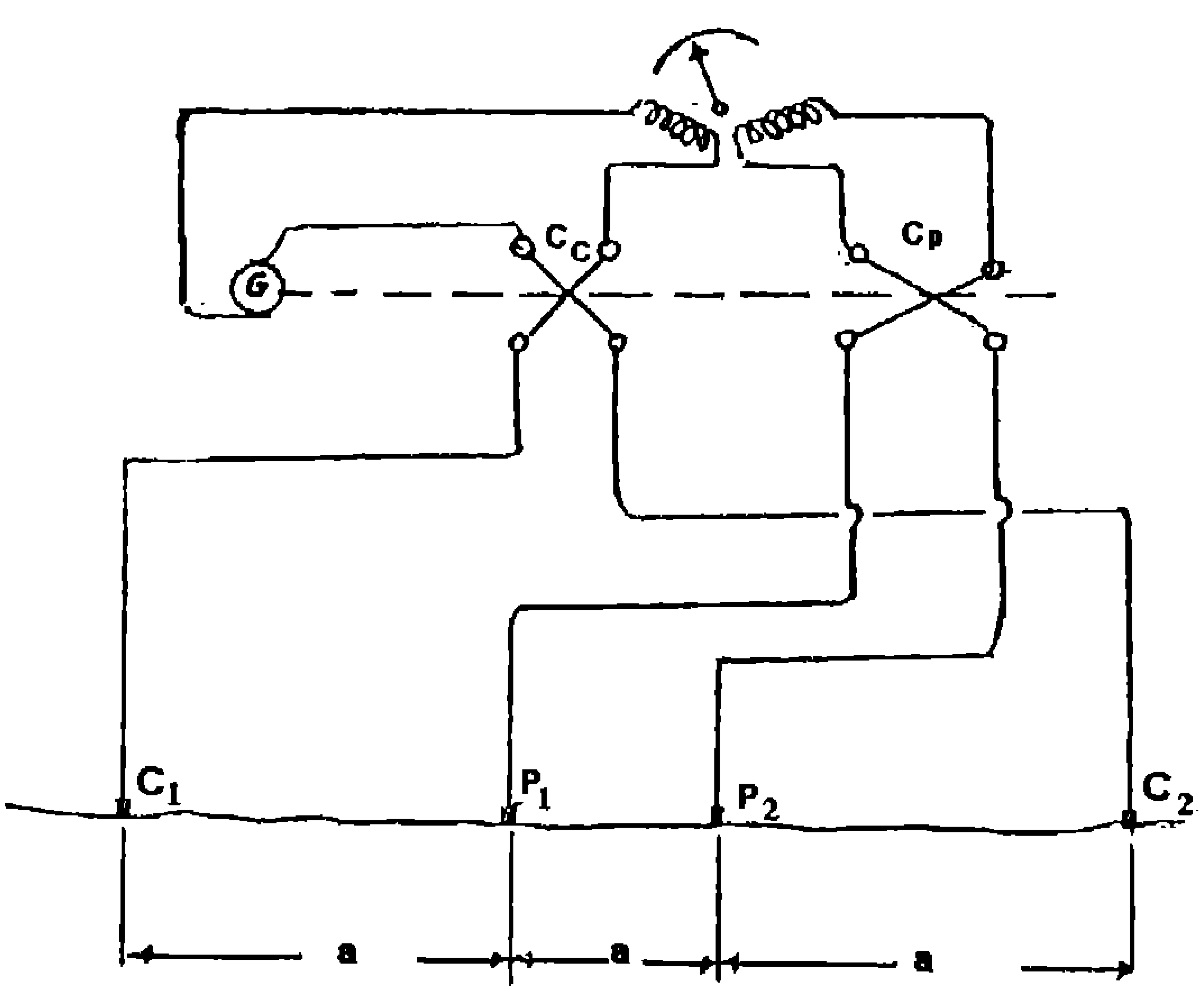
شكل (١/٤) قياس مقاومة التربة بالأربع أطراف. المسافة (b) ، عمق القطب، يجب أن يكون صغيرا مقارنة بـ (a) . المعادلة الأساسية هي : $P = 2\Pi a \frac{E}{I}$ المقاومة يتم أخذ متوسطها لعمق يساوى تقريبا الفاصل للأقطاب (a) .



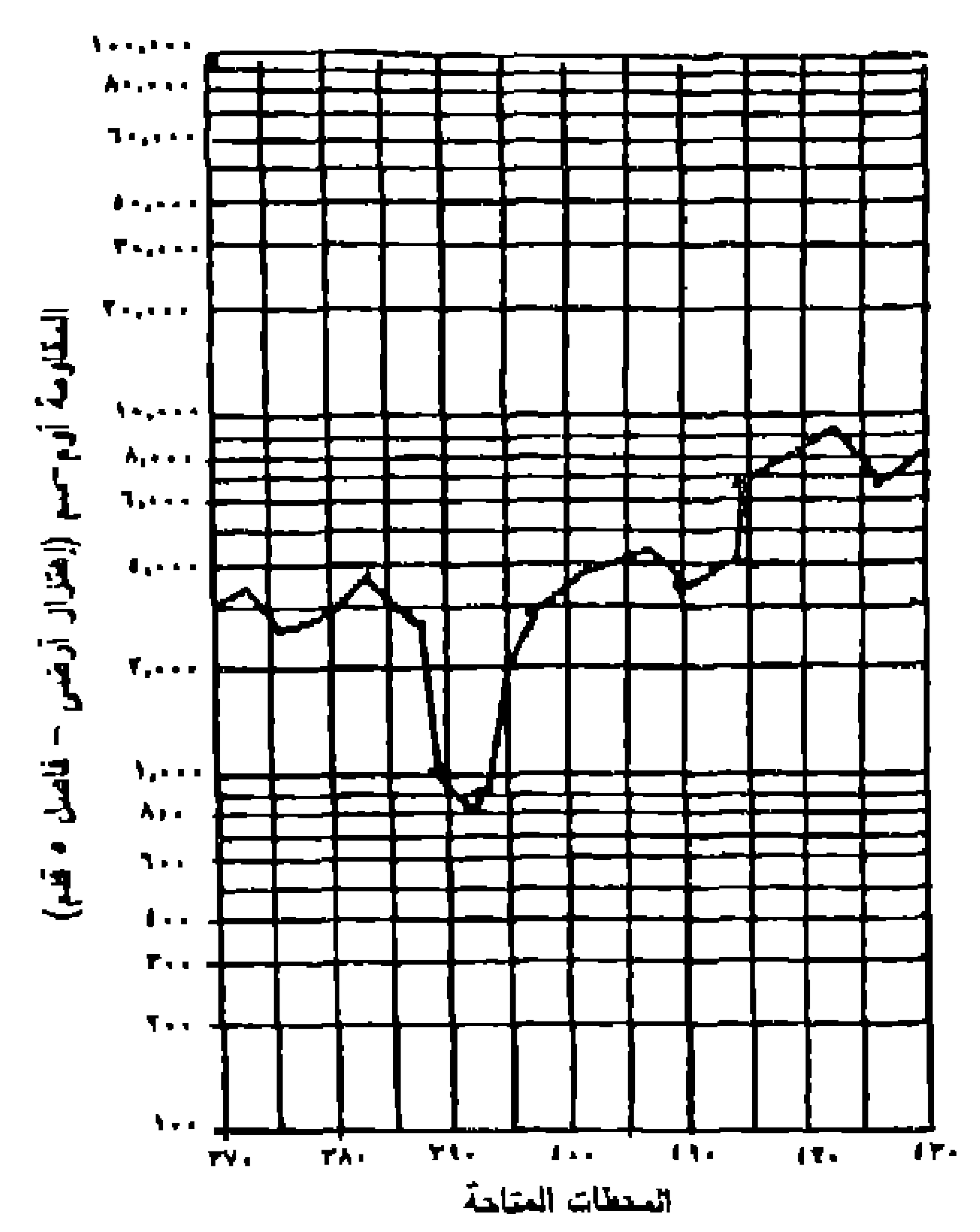
شكل (١/٥) قياس المقاومة بالأميتر – الفلولتميتر ، يمكن استخدام بطارية شحن أو بطاريات جافة للتيار . ستساعد أقطاب كبريتات النحاس في تجنب أخطاء الاستقطاب . الفولتميتر المستخدم يمكن أن يكون بمقاومة عالية، أو قد تستخدم مقاومة متغيرة لتنظيم التيار (Rheostat) . في حالة المسافة (a) ٥ قدم ، ٣,٥ بوصة ، عندئذ تبسط المعادلة لتكون $P = 1000 \frac{E}{I}$ يتم عكس اتجاه التيار، وأخذ متوسط القراءات لاتزان الأخطاء أو الجهود في التربة .



شكل (١/٦) اهتزاز أرضي (Vibro Ground) مخطط مبسط . الهزازات V1 , V2 متزامنين: V1 تحول تيار البطارية المستمر إلى تيار متغير، السلك المنزلق S يتم ضبطه حتى الانخفاض في الجهد (IR) عبر R1 ، مجرى ضبط التيار في دائرة الجهد ، كما يوضح بالمؤشر عند صفر على الجلفانوميتر G . يتم عندئذ قراءة R مباشرة على سلك الانزلاق، ويتم الحصول على P من $P= 2 \Pi a R$.



شكل (١/٧) مخطط مبسط لجهاز قياس المقاومات الكهربية العالية للتربة (Megger) ، التيار الثابت من المولد G الذي يدور بزراع التدوير اليدوي، يتحول إلى تيار متغير بواسطة عاكس التيار C_c ، ويدخل التربة خلال C_1 و C_2 بعد المرور خلال تيار التربة، فإن جهد التيار المتغير الملتقط ما بين P1 , P2 يتحول إلى تيار مستمر بواسطة عاكس التيار Cp ، ثم يتم تغذيته إلى جهد التربة . يتم وضع الإبرة في الراحة، في الأوجه المتضادة من الملفين، عند النقطة التي تبين المقاومة يتم عندئذ الحصول على Rp من $P = 2\Pi a R$.



شكل (١/٨) الشكل العام لمقاومة التربة . القياسات مأخوذه بأى من الطرق التي تم ذكرها موقعة على الأفقي (باستخدام مقياس لوغاريتمي) مع المسافات على طول خط المواسير على المحور الرأسى.

طرق أخرى: (Other Methods)

يوجد ما لا يقل عن ثلاث طرق أخرى لقياس المقاومة بطرق غير مباشرة، حيث لا يحدث التصاق بالتربة على الإطلاق . حيث يتم إعطاء المقاومة باستخدام ماسورة من نوع الحث الكهربي المكانية أسفلها، ويمكن معايرتها لإعطاء نتائج دقيقة إلى حد ما (An Induction Type Locator) . عموما هذه الطريقة يمكن أن تكون مفيدة جدا في استكشاف لمساحات ذات المقاومة المنخفضة؛ والتي يمكن دراستها بعد ذلك بدقة بأحد الطرق السابق شرحها .

قيمة وزاوية مجال المقاومة الظاهرية لتيار عالي التردد (Impedance) بين موصلين متوازيين موضوعين على أو موازيين للسطح هو دلالة لمقاومة التربة، ولذا فإنه يمكن عمل تجهيز التي عليها استخدام هذا المبدأ.

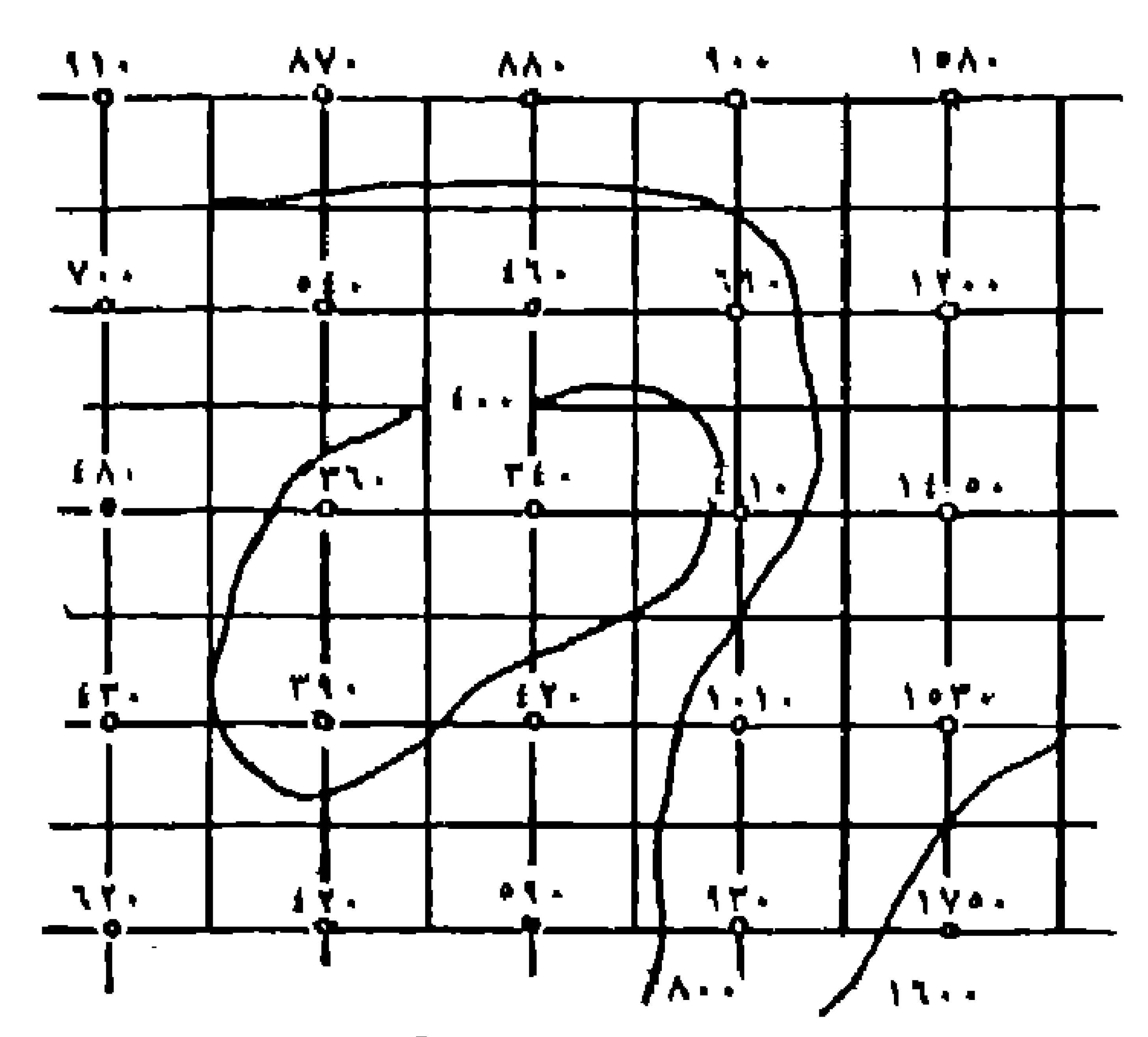
كذلك فإنه حقيقي أن سيل مجال الاشعاع لجهاز إرسال واستقبال عن بعد (Remote Radio Transmitter) على سطح الأرض هو دلالة لمقاومة التربة. كلا هاتين الطريقتين يمكن أن يوفرا التطوير المأمول لنظام دقيق يعمل آليا لتسجيل المقاومة.

تعيين مكان النقط الساخنة : (ocating Hot Spots)

مقاومة التربة التي سيتم فيها وضع طبقة الأساس الأرضية (Ground Bed) هي من مكونات التصميم الأساسية . يكون من المهم جدا الحصول على مقاومة كلية منخفضة ما أمكن وذلك للحصول على خرج التيار الضروري باستخدام أقل طاقة كهربية . على عكس القياسات لتعيين العدوانية، كما في الحالة السابقة، في هذه الحالة المقاومة في العمق الكبير ضرورية . لهذا السبب طريقة الأربع أقطاب هي الوحيدة المفيدة هنا .

عادة تؤخذ القراءات بفواصل ٥ ، ١٠ ، ٢٠ قدم بين الأطراف والقيم الحقيقية المستخدمة هي ٢,٥// ٥/ ، ٥// ١٠/ ، ١٠// ٢٠/ ، والذي يعطي المضاعف لـــ ١٠٠٠ ، ٢٠٠٠ ، ٤٠٠٠ بالتتالي .

الموقع المتوقع يتم تعليمه على لوحة شبكية مستطيلة بفواصل ٥٠ أو ١٠٠قدم، وتؤخذ القراءات عند كل تقاطع؛ حيث الفروق تكون كبيرة ، يتم عندئذ أخذ القراءات المتوسطة . هذه المخططات يتم توقيعها دائما في الموقع، ولذلك للحصول على صورة كاملة. يمكن رسم خطوط الكنتور كما في الشكل (١/٩) .



شكل (١/٩) خريطة المقاومة لقطعة الأرض . يتم أخذ قراءات المقاومة خلال فواصل زمنية، مع قراءات إضافية عند نقطة حاسمة، كما هو موضح بالأرقام الصغيرة . تمثل المنحنيات خطوط المقاومة المتساوية. مثل هذه الخرائط لا قيمة في تعيين مواقع الطبقات الأرضية وتصميمها .

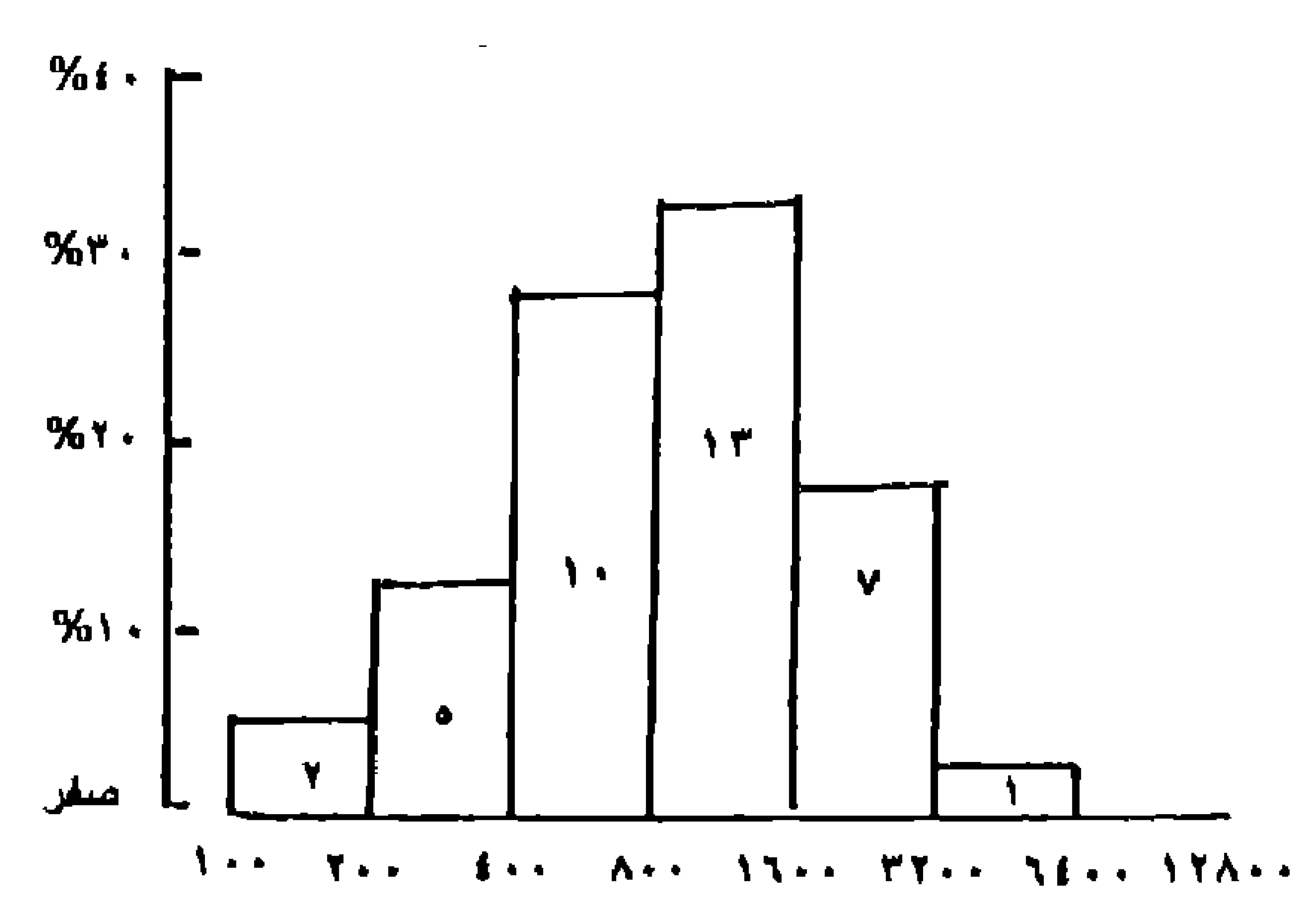
في حالة استخدام الألوان فإن القراءات عند كل الفواصل للثلاث خوابير . يمكن وضعها على نفس المخطط، واحد فقط هو المعروف هنا . يلاحظ أن القيم المختارة للكنتور هي قيم لوغاريتمية، كما كانت التدريجات العمودية في مباحث مقاومة الخط (Line Resistivity Survey) .

مباحث المساحات: (Area Surveys)

عند وجود مجموعة من الأنابيب ومنشآت أخرى تحت الأرض منتشرين في مساحة ما ، كما هو الحال في مصانع التكرير أو المصانع الكيماوية، فإن المباحث التي تشبه لما تم توضيحه توفر المعلومات التي تفيد في كل من استنتاج العدوانية وفي تصميم نظام الحماية .

الفواصل المستخدمة بين القراءات عادة تكون أكبر من تلك المستخدمة لتصميم المجموعة الأرضية (Ground Bed) . عادة يستخدم فاصل أولى ٤٠٠ قدم مع استخدام مواقع متوسطة عند الضرورة للحصول على صورة واضحة . كما في حالة مباحث المجموعة الأرضية فإنه يتم توقيع القراءات على خريطة كنتورية للمقاومة لموقع المصنع . عادة يستخدم فاصل خابور واحد ، والقيم المستخدمة عادة هي القيمة الأسمية ٥ قدم والتي سبق ذكرها .

بالإضافة إلى التوزيع الجغرافي الموضح على خريطة قطعة الأرض للمقاومة ، فإنه يكون من المفيد تحضير توزيع للتردد (Histogram) كما هو موضح في الشكل (١/١٠) . وهو يوضح عدد القراءات الموجودة في درجات أو مجالات مختلفة، هذه المجالات يجب أن تكون لوغاريتمية، كما هو الحال في الفواصل الكنتورية على خريطة المقاومة لقطع الأرض السابق توضيحها .



شكل (١/١٠) مخطط المقاومة . قراءات المقاومة ذات الفواصل المتساوية يتم أخذها على مساحة أو على طول طريق خط المواسير وتوقيعها طبقا لتغيرات حدوث القراءات في مختلف المجالات. يلاحظ أن القراءات المتتالية تغطى نسب المقاومة المتساوية، أفضل من الفروق الرياضية .

مجالات المقاومة اللوغاريتمية :

تم تناول ثلاث أمثلة للمعالجة اللوغاريتمية للمقاومة . يوجد أساس علمي متين لهذا المفهوم ، بعيدا عن الملاحظة الحسية أو البديهية أن هذه النسب أهم من الفروقات. فقد وجد أن أعداد كبيرة من قراءات المقاومة، عند التعبير عنها باللوغاريتم، تميل إلى أن تقع في التوزيعات القياسية (Standard Distributions) . وهذا التوزيع القياسي معروف جيدا ومفيد جدا في التحليل الإحصائي .

نتيجة لذلك هو أن منشأين منتشرين (مثل خطوط الأنابيب) كل معرض لنوعيات كثيرة ومختلفة من التربة ، يمكن مقارنتها بتعرضها للتآكل بدقة كبيرة بمقارنة المتوسط اللوغاريتمي لمقاومتها . متوسط لوغاريتم المقاومة لمجموعة من المقاومات هو القيمة ذات اللوغاريتم الذي هو متوسط لوغاريتمات كل القيم المقاسة . وهذه يمكن بسهولة أخذ متوسطهم (Averaged) بتجمعهم في درجات كما هو في الشكل (١/١١) ، حيث المتوسط اللوغاريتم لعدد ١١٥ قراءة مختلفة وجد أنه ١٤٩٠٠ أوم–سم.

حاصل N x L	L متوسط لوغاريتم	N العدد	قيم القراءات للمقاومة (أوم-سم)
	٥,٨٥		٥١٢,٠٠
١١,١٠	٥,٥٥	٢	٢٥٦,٠٠٠
٢٤٠٠	٥,٢٥	٤	١٢٨,٠٠٠
٢٩,٧٠	٤,٩٥	٦	٦٤,٠٠٠
٧٤,٤٠	٤,٦٥	١٦	٣٢,٠٠٠
١٠٠,٠٥	٤,٣٥	٢٣	١٦,٠٠٠
١٠٢,٢٣	٤,٠٥	٢٥	٨,٠٠٠
١٠١,٢٥	٣,٧٥	٢٧	٤,٠٠٠
٣٧,٩٥	٣,٤٥	١١	٢,٠٠٠
٣,١٥	٢,٨٥	١	١,٠٠٠
	٢,٢٥		٥٠٠
	٢,٥٥		٢٥٠
	٢٢,٢٥		١٢٥
	١,٩٥		٦٢,٥
	١,٦٥		٣١,٢٥

٤٧٩٨٥	١١٥	الإجمالي
٦١٧٢		لوغاريتم المتوسط
١٤,٩٠٠		لوغاريتم متوسط المقاومة أوم-سم

شكل (١/١١) موجز قياسات مقاومة التربة

أنه دائما من الناحية العملية على مستوى العالم اختيار نسبة ٢ : ١ للقيم المتتالية المستخدمة في أى نظام لوغاريتمي، للكنتورات، والمخططات المدرجة لتوزيع التواتر (Histograms) أو لحساب المتوسط . يوجد ثلاث نظم مختلفة كثيرة الاستخدام،

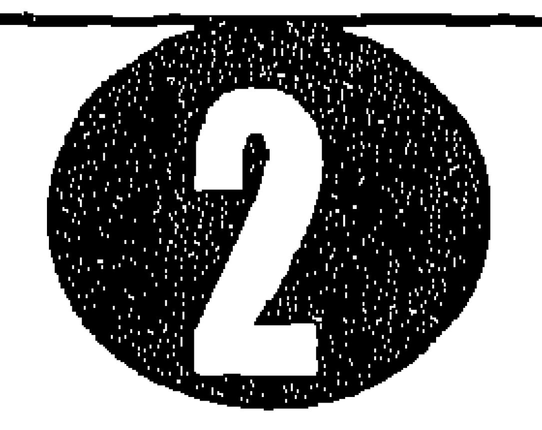
الاثنين السابق توضيحهم ، (A) مبنى على ١٠٠ أوم-سم، كما استخدم في الشكل (١/١١)، (٢) والذي هو ليس لوغاريتمي حقيقي ، في أن النسبة دائما ليست واحدة . كل الثلاث موضحين هنا للمقارنة .

(A)	(B)	(C)
50	62.5	50
100	125	100
200	250	200
400	500	400
800	1000	1000
1600	2000	2000
3200	4000	5000
6400	8000	10000

المقياس (Scale) (C) له ميزة في أى كل القيم لأقرب عشرة أو مائة أو ألف أو نحوها (Round Numbers) ، بينما في حالة (A) أو (B) وامتدادهم بعيد في أى اتجاه فإن الأرقام تصبح حرجة . على الجانب الآخر، عند عمل تحليل رياضي للبيانات، فإن النسب الغير منتظمة في التدريج (C) تسبب تعقيدات . لاحظ الاتساعات الأفقية للخلايا يتم عملها بما يتناسب مع لوغارتيمات النسب ..

Log 2.5 = 0.358 , Log2 = 0.301 ، لذلك فإن النسبة ما بين اتساع أو حيزين (Spaces) ستكون حوالي ٣ : ٤ .

الفصل الثاني



أبحاث الجهد

Potential Surveys

أبحاث الجهد

(Potential surveys)

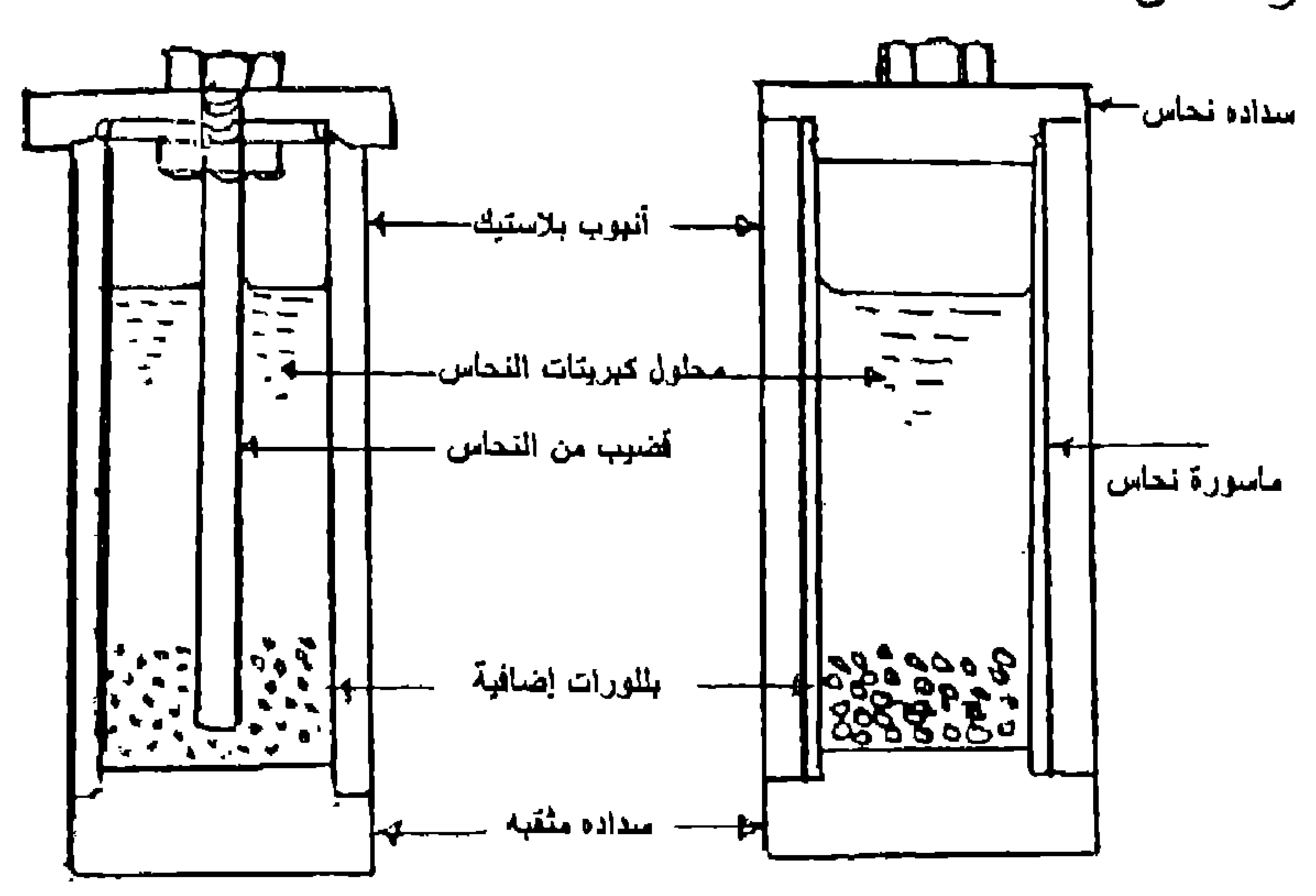
أقطاب: الجهد الماسورة – التربة: (Pipe Tosoil Potentials; Electrodes)

الفرق في الجهد بين ماسورة مدفونة والتربة له أهمية كبيرة، سواء في البحث عن الحالات العدوانية أو في تقييم درجة الحماية الكاثودية المطلوبة . هذه الكمية يتم قياسها بتوصيل جهاز ما بين الماسورة نفسها (التصاق معدني مباشر) وقطب خاص ملتصق بالتربة .

القطب المستخدم عادة هو المكون من وصلة مكونة من نحاس ملتصق بمحلول مشبع من كبريتات النحاس، هذا القطب يمكن عملة بسهولة من مواد متاحة وهو مناسب جدا .

الشكل (٢/١) يوضح نموذج لقطبين .كما توجد أنواع أخرى مستخدمة وهي:

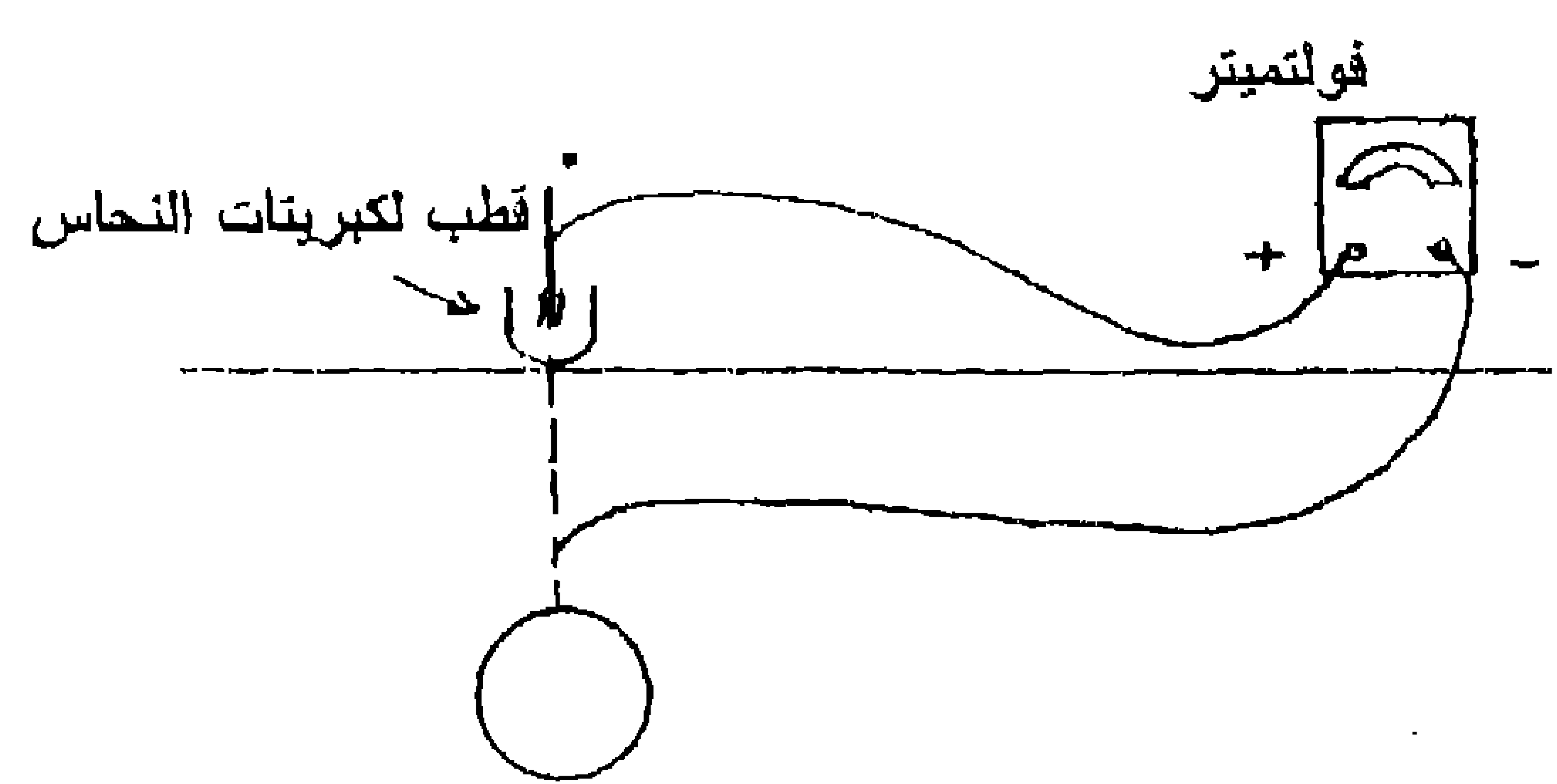
- قطب الهيدروجين، وهو يستخدم فقط في المباحث المعملية .
- قطب (Calomel) ويستخدم عادة في الماء العذب أو الماء المالح
- قطـــب رصاص/ كلوريد الرصاص، يستخدم أحيانا في دراسة تآكل كابل الرصاص .



شكل (٢/١) أقطاب كبريتات النحاس: الأجزاء الرئيسية هي: (١) قطعة من النحاس التي يتم توصيل الجهاز بها (٢) محلول مشبع من كبريتات النحاس، ملتصقا بالنحاس (٣) جزء مثقب يوضع ملتصقا بالتربة من المهم عدم التصاق أى معدن لمحلول كبريتات النحاس عدا النحاس . تضاف بللورات كبريتات النحاس الإضافية لتأكيد أن المحلول دائما في حالة تشبع .

مقياس الجهد: (الفولتميتر – **Voltmeters**) شكل (٢/٢)

أحد الاختيارات للجهاز المستخدم في قياس هذا الجهد هو الفولتميتر ؛ يوجد مصدرين لاحتمالات الخطأ في حالة استعمالة . أولا ، بينما يوضح الفولتميتر بطريقة صحيحة فرق الجهد خلال طرفيه، إلا أن التيار الذي يسرى خلال الجهاز (الفولتميتر هو أساسا ملي أميتر) يسبب انخفاض في الجهد (I R) في باقي الدائرة، والذي لا يظهر في القراءة . فمثلا، إذا كانت مقاومة دائرة خارجية (ماسورة، أسلاك رصاص، والقطب) هو ربع مقاومة العداد، عندئذ فإن العداد سوف يقرأ أربعة أخماس الجهد الكلي، والخطأ سيكون ٢٠% .



شكل (٢/٢) قياس الفولت لجهد الماسورة إلى التربة . التوصيل للماسورة يمكن عمله بواسطة لحام سلك من الرصاص (كما في الشكل) أو أن يتم اللحام بسبيكة معدنية أساسها القصدير أو النحاس ، وذلك لتوصيلها بخابور الالتصاق ، أو أن يتم ذلك بالتوصيل الميكانيكي لمحبس أو أى وصلة فوق السطح . ذلك الأخير يتم استخدامه بحذر، حيث أن وصلات الفلنجات أحيانا تحدث غريبه وعرضيه . إذا كانت التربة جافة، يمكن إضافة قليل من الماء لخفض مقاومة الالتصاق ، من المناسب عادة الحفر قليلا أسفل السطح .

مصدر آخر للخطأ هو أن مرور التيار خلال الدائرة قد يحدث استقطاب للقطب أو للماسورة نفسها، وبذا يتغير الجهد الذي نحن بصدد قياس .

يمكن خفض هذين الخطأين باستخدام فولتميتر عالي المقاومة، بالا يقل عن ١٥٠٠٠٠أوم للفولت، وهذا عادة منخفض جدا . القراءات يجب دائما أن تؤخذ على

مقياسين مختلفين (بإدخال قيمتين مختلفتين لمقاومة العداد) ؛ إذا كان هناك توافق جيد، فإن القيمة يمكن أن تقبل .

في الفصل التالي، سيتم تناول طرق الحصول على القيمة الصحيحة عندما يكون الخطأ بسبب مقاومة الفولتميتر ليس كبيرا جدا (كما في المعادلة ٣/٢ ، ٣/٣ في الفصل الثالث) .

يوجد كذلك الفولتميتر الخاص "مزدوج الحساسية" والذي يوفر قيمتين مختلفتين للمقاومة على نفس التدريج . في حالة أن تكون القراءة واحدة لهاتين (يتم التغيير بمجرد الضغط على زر) عندئذ لا تكون هناك الحاجة إلى أى تصحيح. ولكن في حالة حدوث تغيير بسيط في القراءة عند ضغط الذر عندئذ يمكن عمل تصحيح بسيط جدا .

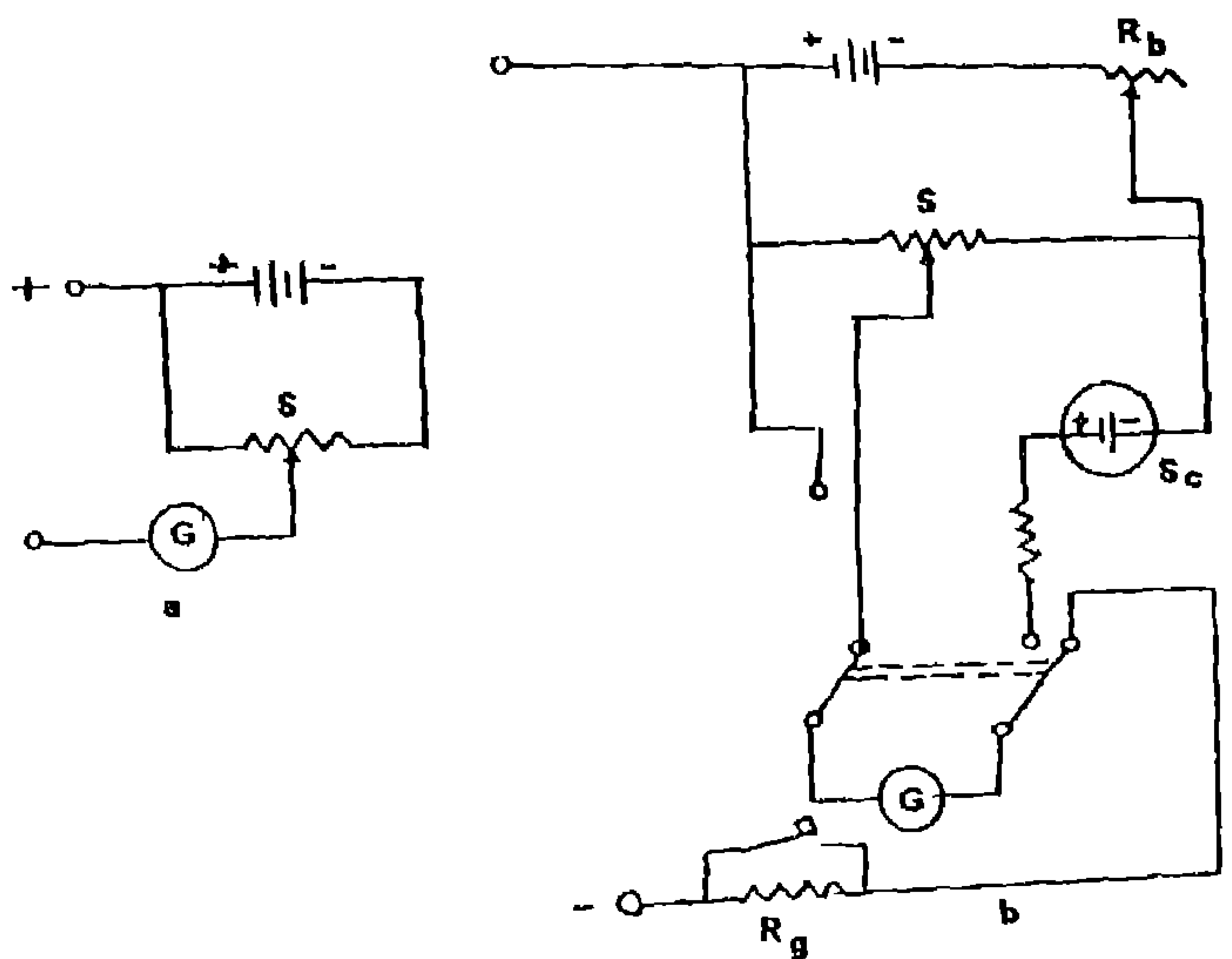
وأخيرا إذا كان التغيير كبير، فإنه يمكن استخدام معادلة تقارن هاتين الحالتين. هذا المقياس مفيد جدا في عمل قراءات سريعة الجهد .

ـ مقياس الجهد بالسلك المنزلق:(Slide - Wire Potentiometer)

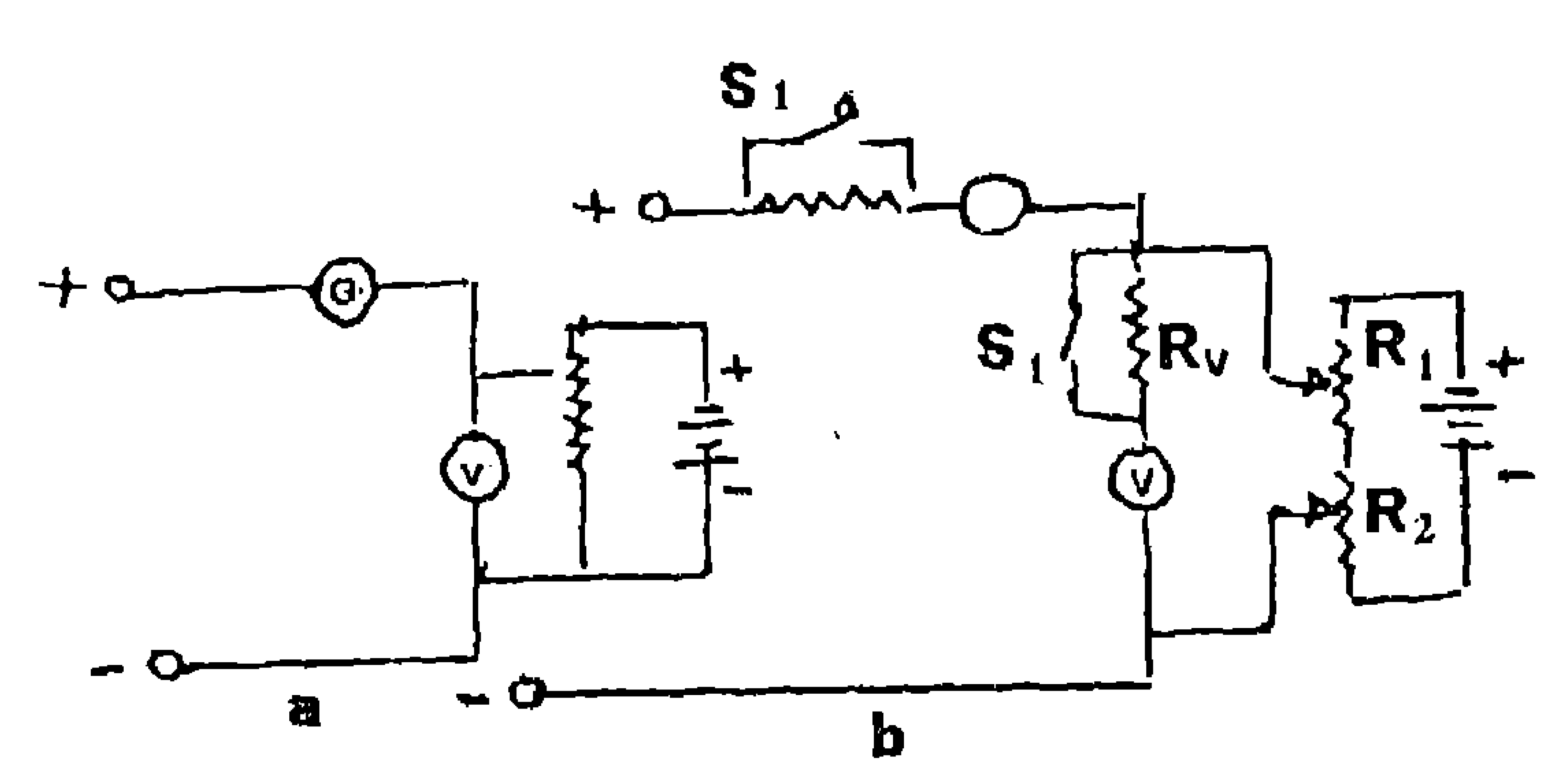
هذه المشاكل يمكن التغلب عليها باستخدام مقياس فرق الجهد بمقاومة متغيرة (Potentiometer) وهو جهاز لا يسحب أى تيار من الدائرة عند نقطة الإتزان (Balance). يتم معرفة أن التيار يتم سحبه بينما يكون الإتزان مستمرا في التقدم، وأن بعض الاستقطاب يمكن أن يحدث . الشكل (٢/٣) يوضح الجهاز وكذلك استخدامه .

مقياس الفولتميتر – البوتنشيومتير : (The potentiometer - Voltmeter)

طريقة أخرى هي باستخدام الفولتميتر – البوتنشيوميتر، كما في الشكل (٢/٤) كأحد النماذج لهذا الجهاز. كلا هذين الجهازين المفيدين يواجهوا سلبيات وذلك عند حدوث تغيرات في الجهد، كما في حالة منطقة التيار الشارد، ذلك لأنه من الصعب تتبع التغيرات السريعة معهم .



شكل (٢/٣) مقياس فرق الجهد بالسلك المنزلق . (a) الدائرة الأساسية . عند ضبط السلك المنزلق S بحيث أن مقياس الجهد G يظهر عدم حدوث انحراف ، عندئذ الجهد الغير معلوم المتصل بالأطراف يمكن قراءته مباشرة على تدريج السلك المنزلق . هذه الدائرة البسيطة يمكن أن تستخدم فقط في حالة ثبات جهد البطارية (b) دائرة مطورة، بإضافة لضبط جهد البطارية بالمقاومة Rb ، باستخدام خلية Sc للمعايرة . المقاومة Rg تحمي مقياس الجهد (G) من التيار الزائد ، يتم تقصيرها بمفتاح عندما يكون الجهاز دائما متزن تماما .
معظم الأجهزة المستخدمة للتآكل لها تدريجين أو أكثر بدلا من واحد فقط الموضح هنا.



شكل (٢/٤) مقياس الفولتميتر – اليوتنشيوميتر . (a) تبين الدائرة الأساسية . عند مؤشر الجلفانوميتر حيث يكون صفر ، فإن الجهد الخارجي المتصل بالأطراف هو نفسه مثل جزء جهد البطارية الموضح على الفولتميتر V ، ذلك عندئذ يكون (C) المقاومتين R1 , R2 ذوات القيم المختلفة، يوفرا ضبط دقيق ومون و ، (٢) المفتاح (S_2) يتحكم في مقاومة الحماية تشبه لتلك في الشكل (c/٢) . يمكن أكثر من مجالين ، كما يمكن كذلك استخدام نفس الجهاز كأميتر وذلك بإضافة مجزئ للتيار الكهربي (Shunts)

ـ فولتميتر الأنبوب – المفرغ: (Vacuum - Tube Voltmeter)

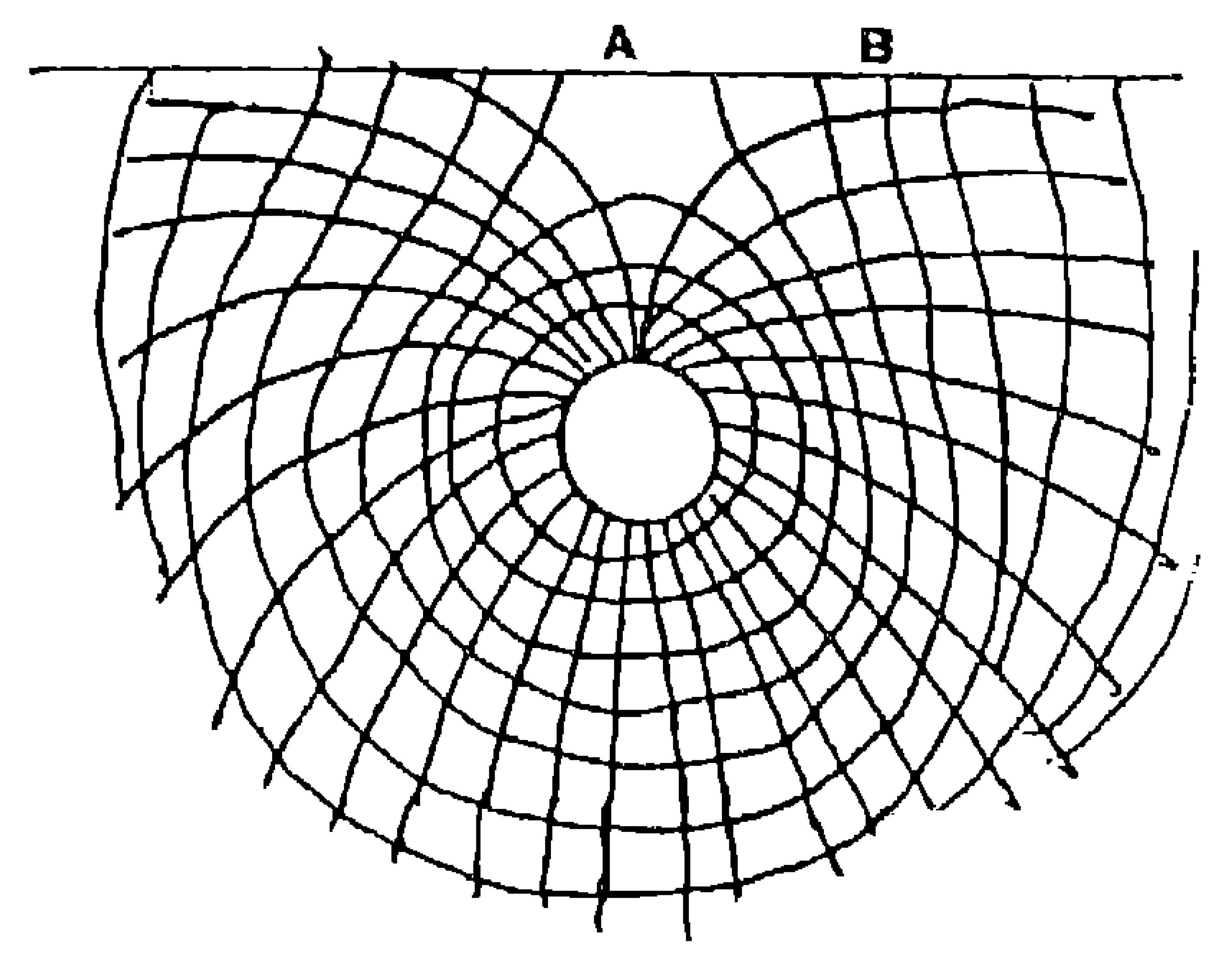
هذا الجهاز (غير موضح هنا) بما له من مقاومات وتقنيات حديثه أخرى، وصل حاليا إلى مرحلة الثبات والاعتماد عليه حيث يفيد في الموقع – وحدات الطاقة من البطارية ذات دخل إعاقة (محمل مقاومة الدائرة أو الجهاز لسريان التيار المتناوب Impedance) مرتفع حتى ١٠ ميجوم (Megohms) ، بحيث يتوقف خطأ مقاومة الدائر ولا توجد مشكله . وله مميزات أخرى تتفوق على أنواع أجهزة البوتنشيوميتر في أنه لا يحتاج للاتزان، وبذا يمكن استخدامه في تتبع الجهود المتغيرة بدون صعوبة .

وضع القطب (Electrode Placement) :

الشكل (٢/٥) يوضح التيار ومجالات الجهد حول خط المواسير والتى تكون إما تجميع أو تفريغ عند النقطة الموضحة . سيلاخظ أنه لا توجد نقطة على سطح الأرض والتى تكون بنفس الجهد مثل سطح الماسورة نفسه . لذلك فإن مكان القطب الذي يتم اختياره سوف يسبب بعض الخطأ في إنخفاض الجهد (I R) في القراءات .

هذا الخطأ هو على الأقل (للمجال المتماثل) عند وضع القطب مباشرة فوق الماسورة.

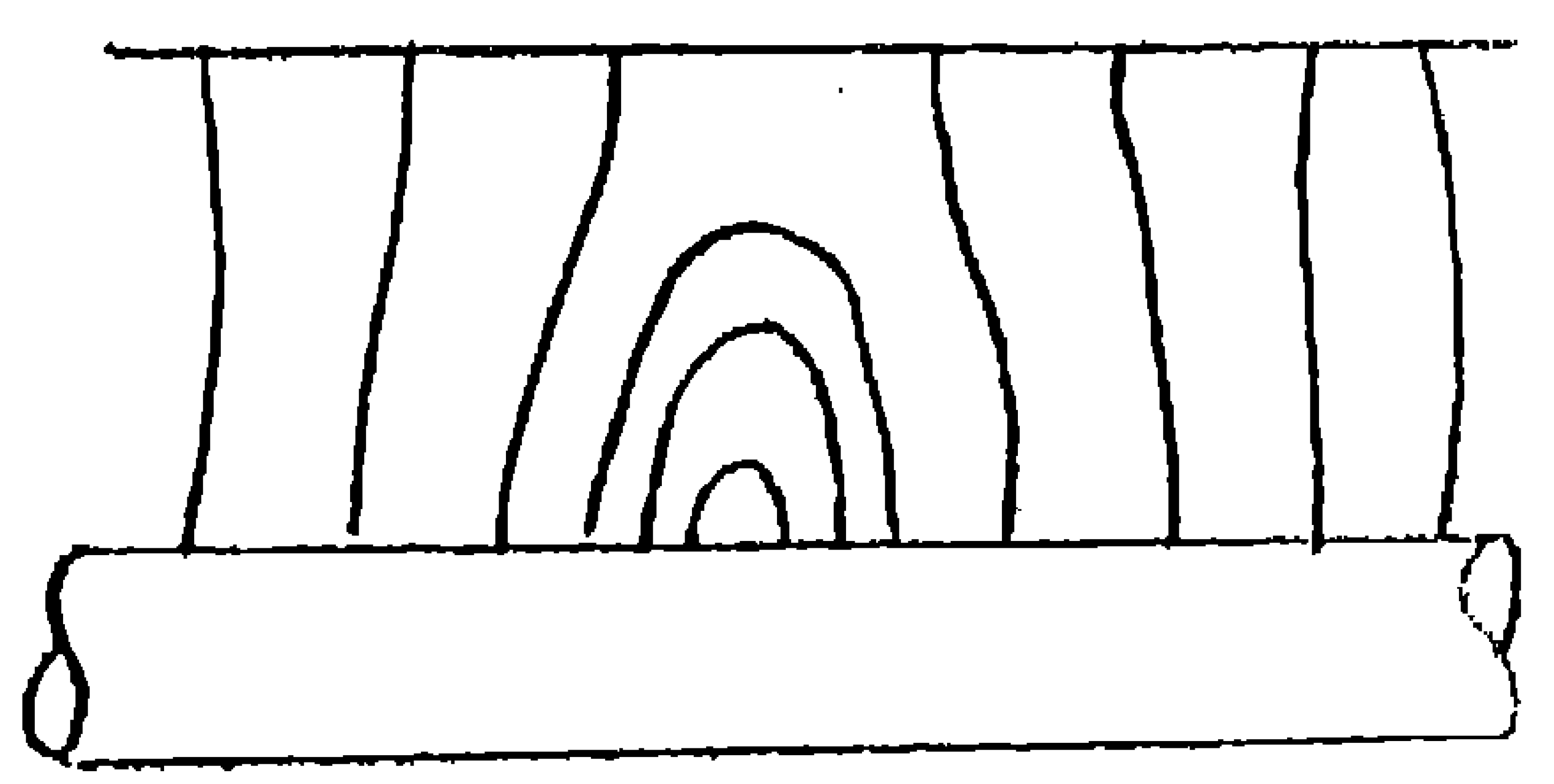
الطريقة الوحيدة التي يمكن أن تؤخذ بها القراءة الصحيحة نظريا هو بوضع القطب بالقرب من الماسورة أو باستخدام دائرة هيكلية (Nullcircuit) محتوية على قطبين أو أكثر ، حيث فيها يتم إلغاء تأثير فقد الجهد (IR Drop) . كلا هذين لم يلق قبول بالدرجة المطلوبة .



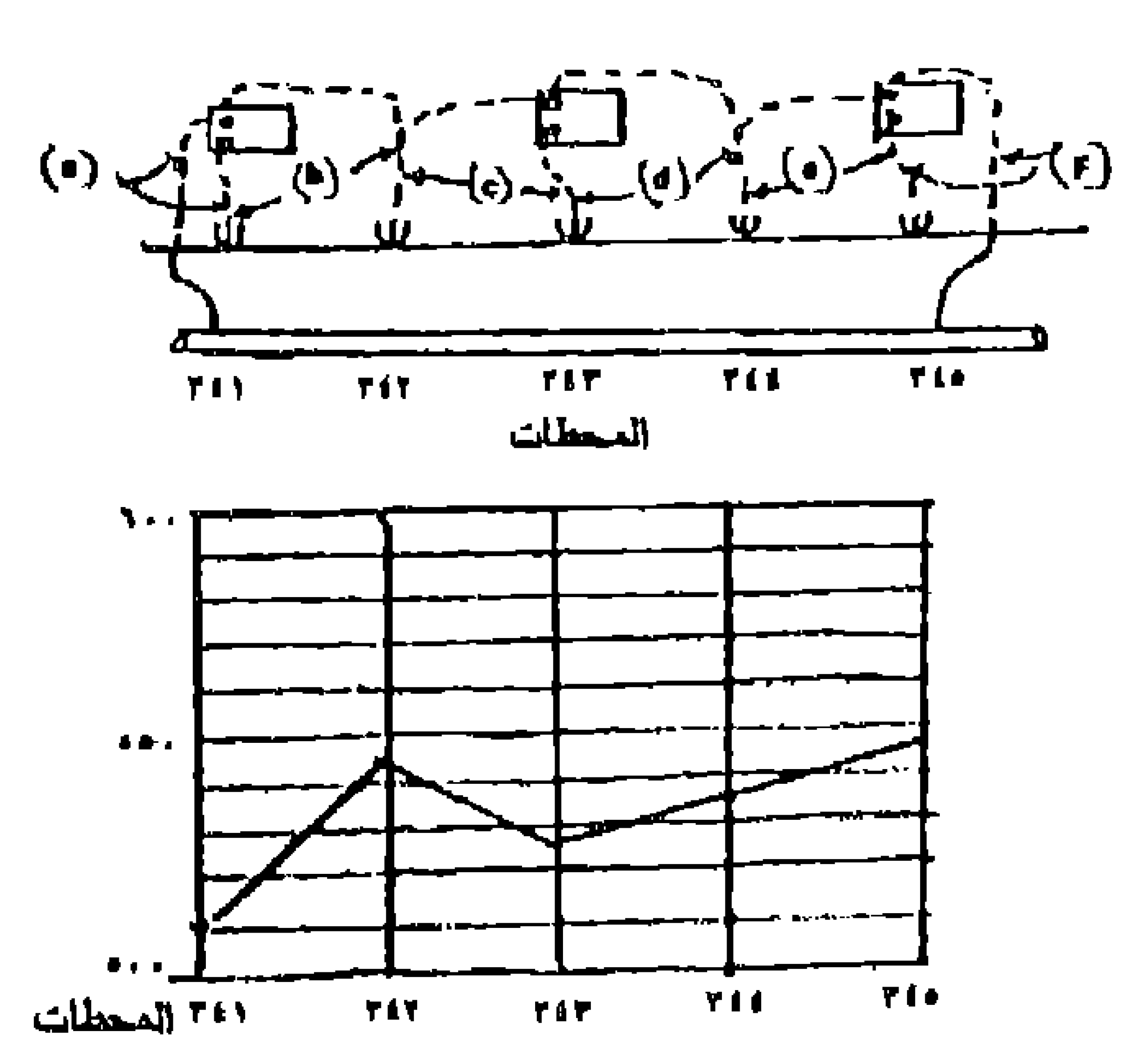
شكل (٢/٥) مجال التيار والجهد حول الماسورة . الخطوط الخارجة من دائرة الماسورة تمثل تدفق التيار إلى أو من الماسورة الموجودة في التربة ذو مقاومة متساوية . الخطوط الدورانية حول الماسورة تمثل اختلافات متساوية في الجهد . يمكن ملاحظة أنه لا توجد نقطة على السطح بنفس الجهد مثل تلك الملاصقة مباشرة للماسورة، ولكن القطر الموضوع عند (A) يمثل تقريبا عن ذلك الموضوع عند (B) .

مباحث الجهد على السطح للتآكل: (Surface Potential Survey For Corrosion) .

شكل (٢/٦) يبين مجالات التيار والجهد حول مقطع في خط المواسير والذي يتآكل عند أي منقطة أنودية، توزيع الجهد على طول سطح التربة فوق الماسورة يبين بوضوح مكان المنطقة النشطة، لذلك فإن مباحث الجهد السطحي على طول خط المواسير يكون ذو قيمة في تحديد مكن التآكل . الشكل (٢/٧) يوضح مخطط لعمل هذه المباحث .



شكل (٢/٦) مجال الجهد حول نقطة آنودية واحدة . النقطة الأنودية المعزولة على خط مواسير مدفون يمكن اكتشافها بسهولة بقياسات جهد السطح، شريطه أن تؤخذ القراءات على فواصل قريبة كافية .



شكل (٣/٧) ، طريقة عمل مباحث الجهد السطحى

(أ) قياس جهد الماسورة – التربة عند سلك توصيل الاختبار لمحطة ٣٤١ .

(ب) قياس جهد الماسورة – التربة ما بين ٣٤١، ٣٤٢ ؛ يضاف جبريا إلى القراءة من (P). هذا يعطى جهد الماسورة التربة عند ٣٤٢ .

(ج) حرك الجهاز محطتين: يقاس الجهد ما بين ٣٤٢ ، ٣٤٣ .

(ء) يقاس الجهد من التربة إلى التربة ما بين ٣٤٣ ، ٣٤٤ .

(هـ) تحرك محطتين: يتم القياس التربة إلى التربة ما بين ٣٤٤ ، ٣٤٥ .

(و) يقاس جهد الماسورة إلى التربة عند ٣٤٥ . يتم مراجعة القراءات مع القيم المتحصل عليها؛ الخطأ يمكن تزويده أو إهماله إذا كان صغيرا .

الملاحظات يمكن أن تكون كالآتى :

٥١٠ مليفولت

٣٤١	+ ٣٥		٥٤٥
٣٤٢	- ٢٠		٥٢٥
٣٤٣	+ ١٠		٥٣٥
٣٤٥	٤٤٠ مليفولت	+١٠	٥٤٥

الخطأ = +٥ مليفولت .

يستخدم قطبين ، يتم استخدامها بطريقة فقز الضفدع لتجنب الخطأ بسبب الفرق الصغير بين القطبين .

التغيرات في مقاومة التربة :

التغيرات في مقاومة التربة تسبب فروق في الجهد والتي يمكن ألا تلغي ، لذلك فإن المشكلة تعتبر بسيطة كما قد تبدو . سلبية أخرى لهذه الطريقة وهي هامة جدا وهي أنها لا تستطيع اكتشاف موقع خلية موضعية جدا، حيث الآنود والكاثود قريبين من بعضهما البعض، كما في حالة خلية التركيز العادية حيث الآنود عند قاع الماسورة والكاثود عند قمة الماسورة، في نفس المكان .

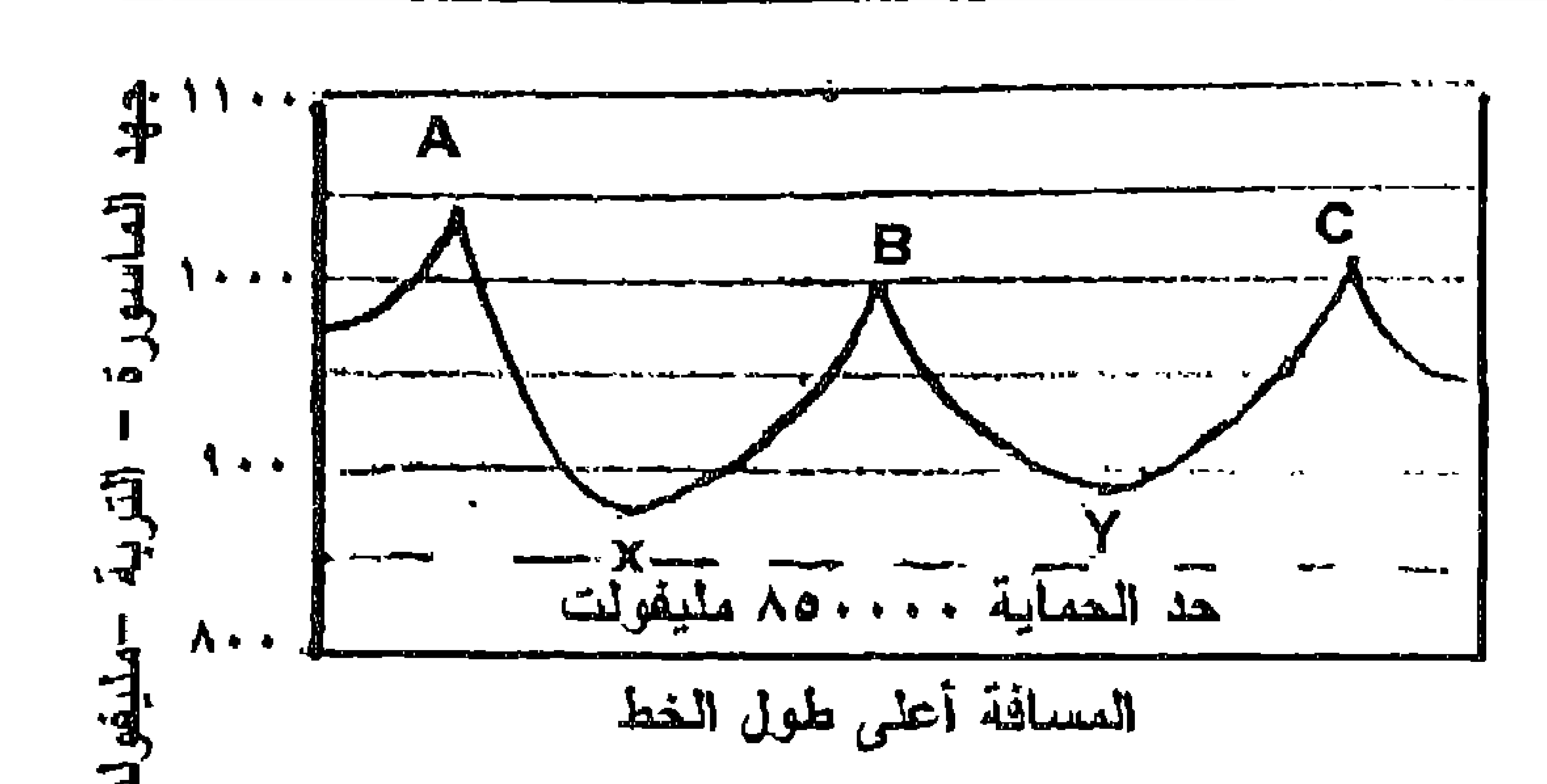
الجهد ما بين الماسورة – التربة كمقياس للحماية الكاثودية شكل (٢/٨):

(Pipetosoil Potential)

أنه من المعروف عالميا أن المنشأ من الصلب تحت الحماية الكاثودية يكون محقق له الحماية التامة إذا كان الجهد لا يقل عن –٠,٨٥ فولت بالسالب، وذلك بالنسبة لقطب مقياسي من النحاس / كبريتات النحاس موضوع في الإليكتروليت قريبا من (Adjacent) لسطح المعدن مباشرة . كل المنشأ المعدني يكون تام الحماية، وذلك فقط إذا كانت هذه القاعدة مطبقة على كل نقطة من سطح المعدن. وهذه ليس أقل المطالب ولكن هي أقصاها. بمعنى آخر فإن المنشأ يكون تام الحماية عند تحقيق ذلك . كما أنه يمكن كذلك التحرر كاملا من التآكل النشط عند جهود منخفضة . كما ذكر فإنه غير عمليا البطء في وضع القطب مجاور مباشرة لسطح الماسورة، كما أنه من غير الممكن إطلاقا أخذ قراءات عند كل نقطة للسطح . نتيجة لهاتين الصعوبتين فإنه عموما يكون مقبول وضع القطب في التربة فوق الخط مباشرة، إنه ليس من الصعب لتوضيح أنه في حالة الخط الذي تم تغطيته جيدا فإن هذا يعتبر جيد كما لو كان قريبا من الخط . في حالة الخط الغير مغطى، فإن هذا لا ينطبق ، حيث أن الخطوط الغير مغطاه نادرا ما تكون تامة الحماية في أى حال . الصعوبة الثانية يمكن تجنبها بفرض درجة معينة من الاستمرارية في تدرج الجهد على طول الخط . هذه الفرضية تعتبر مقبولة دائما، ولكنها تتغير عند كسر هذه الفرضية يسبب عن الاستمرارية في مقاومة التربة، حيث تسقط أو تفشل فقط في المناطق والتى تكون غير عدوانية بدون حماية .

من المعتاد عندئذ، وآمن إلى حد ما اعتبار الخط المغطى أنه تام الحماية وذلك في حالة المباحث على امتداد طوله أظهرت منحنى جهد سلس الذي لا ينخفض تحت قيمة ٠,٨٥ فولت، كل القراءات تؤخذ بالنسبة لقطب عياري من النحاس/ كبريتات النحاس .

بمجرد تأكيد المباحث التفصيلية أن الخط محمى، عندئذ يمكن عمل مراجعة من آن إلى آخر عند النقطة الحرجة (نقطة الجهد المنخفض بين الوحدات) لإمكان معرفة أن الحماية ما تزال محققه . هذا الموضوع سيتم مناقشته بالتفصيل فيما بعد .



شكل (٢/٨) جهد الماسورة – التربة لخط مواسير تم حمايته . التوزيع النموذجى للجهد على طول الخط مع وحدات حماية عند A , B , C . النقطة x والنقطة Y هي النقط الحساسة ؛ إذا ظل الجهد كافيا عند هذه النقط، فإن كل الخط يكون محقق له حماية كافية

تطبيقات أخرى بالنسبة لجهد الماسورة – التربة:

هذا القياس يكون جزء من تقنية تستخدم في أنواع من الدراسات، معظمها سيتم مناقشته فيما بعد من بين هذه الدراسات يمكن ذكر .

- دراسات التداخل .
- المباحث عن التيار الشارد
- قياس التوصيل لطبقة الحماية .
- اختبارات الحماية الكاثودية .

الفصل الثالث

3

تيارات الخط

Line Currents

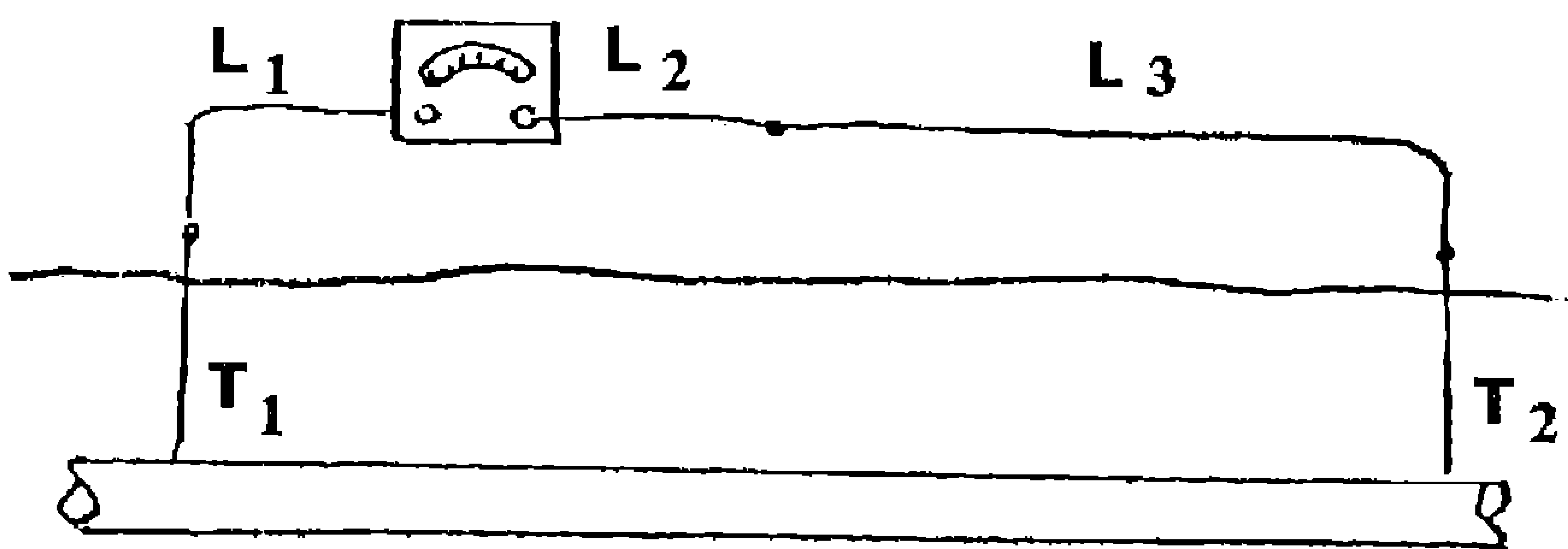
تيارات الخط

Line Currents

قياس تيار الخط في مقطع اختبار شكل (٣/١) :

(Measurement of Line Current In Test Section)

يتكون مقطع الاختبار من طول من خط المواسير حيث التوصيل باللحام فقط مع عدم وجود طرق توصيل أخرى أو وصلات جانبية أو قطع (مثل المحابس)، بين النقطتين حيث سيتم توصيل الجهاز نقط التوصيل عادة تأخذ شكل زوج من أسلاك التوصيل (Lead Wires) الملتصقتين باستمرار باستخدام خوابير (Bars) الالتصاق صعب وعموما لا يحقق المطلوب بدرجة جيدة . مقاومة الماسورة نفسها (وليس أسلاك التوصيل) بين النقطتين يجب أن يكون معروفا، وهي تكون عادة حوالي ٠,٠٠١ أوم، أو يمكن التعبير عنها بوحدات التوصيل، مثل ١ أمبير/ مليفولت . للحصول على هذه القيمة، فإن طول الماسورة يجب أن يتغير طبقا لوزن الماسورة، العادي هو حوالي ٥٠ قدم و ٤٠٠ قدم .



شكل (٣/١) قياس الخفض في الجهد (IR Drop) في جزء من الخط . Rw في المعادلة (١) هي المقاومة الكلية لـ T1 , T2 , L1 , L2 , L3 عدا في حالة L1 , L2 أنها زوج من أسلاك توصيل معايرة ومطابقة مع ومزدوة بجهاز، حيث في تلك الحالة تكون (Rw = T1 + T2 + L2 only)

فولتميتر قياس تيار الخط :

الفرق في الجهد بين الصفيحتين، مضروبا في التوصيل للمقطع، سوف يعطي قيمة التيار الذي يسرى في الخط. هذا الفرق في الجهد يمكن تعيينه بواسطة

المليفولتميتر . بالنسبة للتيارات التي تحدث طبيعيا فانه يمكن أن يكون المطلوب مقياس له انحراف كامل للتدريج ومنخفض حتى واحد مليفولتميتر؛ التيارات المستخدمة في الحماية الكاثودية ينتج عنها قيم أكبر. جهاز بما له من مثل هذا المجال سوف تكون مقاومته الداخلية منخفضة، ربما تكون منخفضة حتى واحد أوم، لذلك فإن مقاوم أسلاك التوصيل سوف تكون ذات أهمية كبيرة . في حالة معرفة مقاومة أسلاك التوصيل (Lead Wires)، فإن تصحيح القراءة يمكن الحصول عليه من:

$$Vcorr = Vind \times \frac{Rm + RW}{RW}$$ معادلة (٣/١)

حيث :

Vcorr = هي القراءة الصحيحة .

Vind = هي القراءة المبينة على التدريج

Rm = مقاومة جهاز القياس (Meter Resistance)

RW = المقاومة الكلية لسلك الصفيحة (Lead Wire) .

طريقة أخرى للتصحيح بالنسبة لمقاومة سلك التوصيل، والتى تتميز في أن القيمة لا توجد حاجة لمعرفتها ، تشمل أخذ القراءات على مجالين (نطاقين – Ranges) للفلولتميتر المتعدد التدريج (Multi - Scale Voltmeter) وتطبيق .

$$Vcorr = \frac{V_L \ V_H (R-1)}{RV_L - V_H}$$ معادلة (٣/٢)

حيث :

V_L = القراءه على التدريج

V_H = القراءه على التدريج العالى

R = النسبة بين التدريجين (2 Scales)

إذا كان نسبة التدريج 2:1 كما هو الحال عادة ، فإن المعادة (٣/٢) يتم تبسيطها لتكون .

$$V_{corr} = \frac{V_L \quad V_H}{2\,V_L \ - V_H}$$ معادلة (٣/٣)

مقياس فرق الجهد بمقاومة متغيرة (البوتنشيوميتر): (The Potentiometer)

يمكن الاستغناء عن عملية التصحيح باستخدام مقياس فرق الجهد بالمقاومة المتغيرة، بشرط استخدام الجلفانوميتر (مقياس كهرومغناطيسي للكشف على التيار أو تعيين اتجاهه) بحساسية جيدة . الجهاز المناسب له ٢٠ أوم جلفانوميتر بحساسية ٢٠ ميكرو أمبير لكل قسم؛ بفرض رؤية انحراف $\frac{1}{10}$ من القسم عندئذ فإن أدنى عدم اتزان يمكن كشفه هو ٠,٠٤ مليفولت، وهذا مناسب في معظم الشغل ، ذلك عدا في حالة تفكير دقيق وتنقية غير عادية . نفس الجهاز يستخدم أحيانا مع جلفا نوميتر ٣٠٠ أوم – ممتاز لجهود الماسورة إلى التربة – ولكن، كما هو واضح غير مناسب لقياس تيار الخط (Line Current Measurement) . بوتنشيوميتر مع جلفانوميتر مناسب أو فولتميتر عالي المقاومة ، مع تصحيحات (تصويبات) لمقاومة سلك التوصيل .

معايرة مقطع الاختبار: (Calibration Of Test Section) شكل (٣/٢)

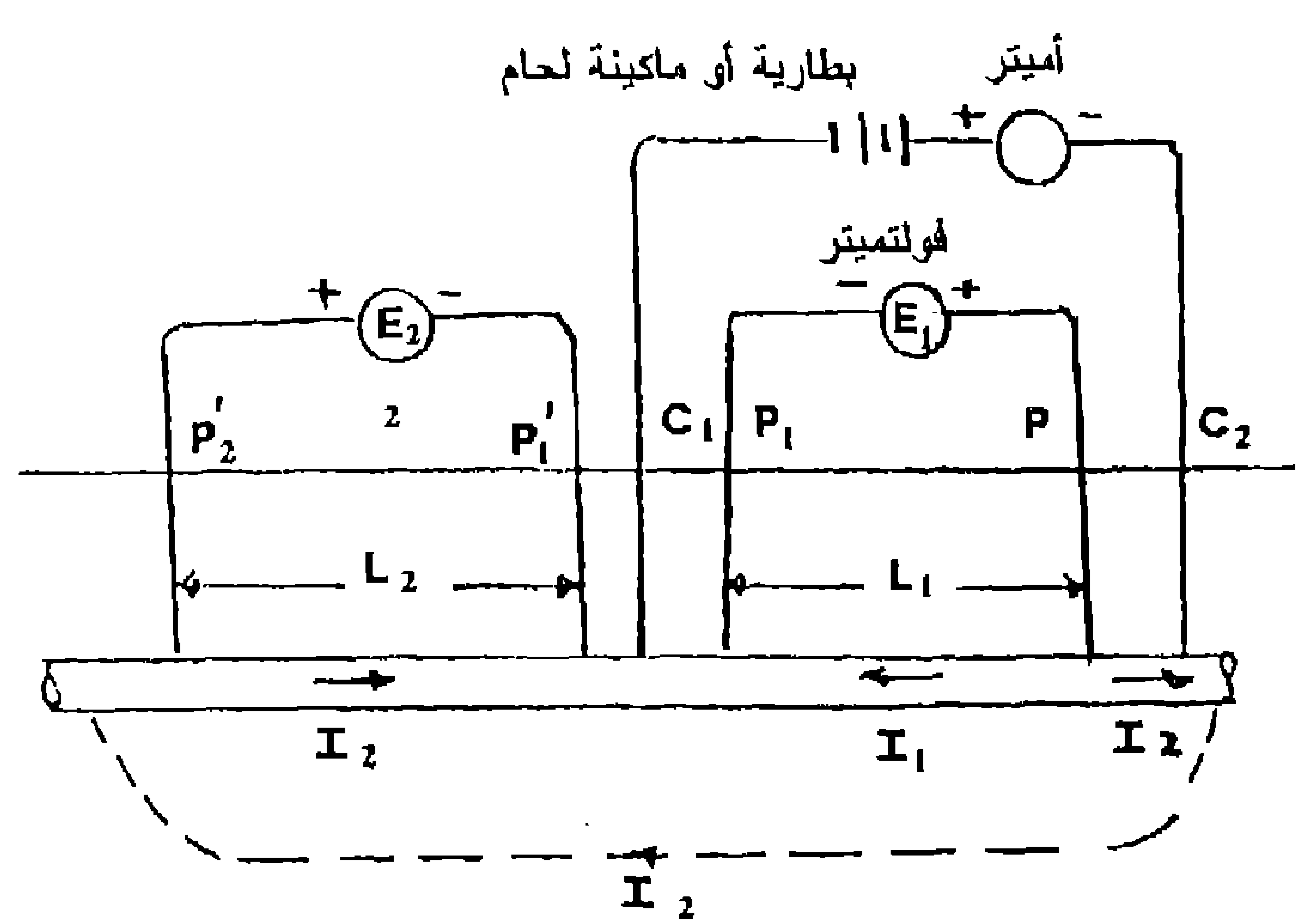
التوصيل لمقطع الاختبار يمكن تقريبة من المعادلة

K (الأمبيرات/ المليفولت) = $\frac{\text{٤} \times \text{الوزن (أرطال / القدم)}}{\text{الطول (القدم)}}$ معادلة (٣/٤)

هذا هو فقط تقدير تقريبي، المعامل يمكن أن يتغير من ٣,٥ حتى ٥ ، وكذلك يتم إدخال متغيرات أخرى بتجاوز الوزن لخط المواسير . ولكن الطريقة المفضلة هي بالمعايرة المباشرة، كما هو موضح في الشكل (٣/٢) .

يستخدم وصلتين لإدخال التيار، ووصلتين أخريين (حيث يظلا كسلك توصيل اختبار ثابت) لوصلة الفلولتميتر . ليس كل التيار السارى خلال الأميتر يسرى خلال مقطع الاختبار ، بعض منه يسرى خلال ممر أرضي بعيد .

هذا التأثير متغير إلى حد ما، طبقا لتوصيل طبقة التغطية ومقاومة التربة، لتصحيح ذلك ، فإنه يكون مطلوب زوج إضافي من أسلاك التوصيل .



شكل (٣/٢) معايرة مقطع اختبار . التوصيل للمقطع بالأمبيرات للمليفولت يعطى بواسطة $K = \frac{I}{E_1 + E_2}$ في حالة L2 = L1 . إذا كان هذين المقطعين ليسوا متساويين عندئذ

دراسات التيار الشارد : (Stray Current Studies)

عند ملاحظة تغيرات للتيارات أو الجهود، فإنه يكون من المحتمل وجود تأثيرات للتيار الشارد . الدلائل المفيدة لمصدر هذه التيارات الشاردة يمكن من خلال تسجيل قراءات ٢٤ سعة لجهود تيار الخط . في حالة المطلوب القيم الحقيقية، يمكن عمل التصحيح أو التصويب بالمعادلة (٣/١) أو بإدخال مقاومة في الدائرة ذلك لتكون Rw = Rm ، معامل التصحيح سيكون عندئذ ٢ تماما، ويمكن عمله باختيار المخطط المناسب لإمكان تسجيل المليفولتات التى تم تصحيحها . مقارنة المخططات أو الجداول البيانية بتسجيل عمل الجهاز (المشكوك فيه) سوف يحدد المصدر موضوع السؤال .

تيار الخط الطويل : (Long Line Currents)

استخدام القياس للخط الطويل المستخدم في الماضي أكثر من الوقت الحالي هو لتتبع تيارات الخط الطويل، ومكان المنطقة (المساحات) حيث التسرب إلى الأرض .

إذا كانت التيارات من هذا النوع هي السبب الوحيد لتآكل خط المواسير، فإن كل المناطق الآنودية يمكن معرفتها، ولكن لسوء الحظ فإن معظم العدوان الآنودي على

المواسير المدفونة هو مصاحب لخلايا التآكل ذات أبعاد صغيره جدا، عادة الآنود يكون عند القاع والكاثود على قمة الماسورة بمسافة عدة بوصات، دراسات تيار الخط لا يمكنها تحديد مكان مثل هذه الحالات .

اختبارات الحماية الكاثودية وتدفقات التيار المصاحب لنظم الحماية الكاثودية :

سواء كانت معدة الاختبار مستمرة أو مؤقتة، فهي عموما تيارات الخط الطويل، الجزء الهام لهذا الاختبار هو في القياس لهذه التيارات، التطبيقات سيتم مناقشتها في أحد الفصول التالية .

قياس التوصيل لطبقة التغطية :

نفس الشيء ينطبق في تعيين التوصيل لطبقة التغطية – وهو نوع من القياسات الذي سيزيد الاهتمام به بالنسبة لمهندسى التآكل في المستقبل، قياسات تيارات الخط أقل عرضة لعوامل الاضطراب مقارنة بقياسات الجهد، كما تفيد المهندس في توفير الطريقة إلى التعامل مع هذا الموضوع الصعب، سيتم كذلك مناقشة هذا الموضوع بالتفصيل .

الفصل الرابع

4

متطلبات التيار لأعمال المباحث

Current Requirement Surveys

متطلبات التيار لأعمال المباحث

(Current Requirement Surveys)

المشكلة: الخطوط التي يتم تغطيته (Coated Lines) :

أبسط طريقة للحماية الكاثودية للخطوط المغطاة هو بهدف الحصول على جهد الماسورة – التربة بقيمة ٠,٨٥ فولت (بالنسبة لقطب كبريتات النحاس) خلال الخط. المباحث شديدة الدقة في التفاصيل يمكن أن تظهر أن الحماية يمكن تحقيقها بمقادير منخفضة، ولكن فقط في حالة المنشآت الغير مغطاه أو ضعيفة التغطية فإن التحفظات ستكون كبيرة بما يسبب متطلبات عمل هندسى إضافي .

عند تحديد كمية وتوزيع تيار الصرف (Drainage Current) للحصول على الجهد المطلوب، يمكن استخدام طريقتين وهما:

١- الحماية الكاملة للخط بإنشاءات مؤقتة، هذه لكونها متغيرة ومتنقلة حتى وجود توافقيه مرضية .

٢- تعيين الخواص الكهربية للخط، وحساب النظام من هذه البيانات .

الطريقة الأولى: هي غالبا مستحيلة ومعقدة في التنفيذ ونادرا ما يتم محاولتها .

الطريقة الثاني: ممكنة نظريا، رغم أنه من الناحية العملية يكون من الضروري عمل كمية من طريقة المحاولات والخطأ ،

الطريقة التوافقية: حيث اختيار الخطأ والصواب لكفاءة مختلف الطرق التوافقية تتم على الورق، وليس في الموقع، حيث يوصي بذلك .

مبادئ اختبار متطلبات التيار:

تسرب التيار من الخط إلى طبقة الحماية الأرضية (Ground Bed) المؤقتة، والتأثيرات المحددة بالنسبة لطول المسافة التي يمكن قياسها (بعيدا عن نقطة الحماية الكاملة)، من واحد أو أكثر لهذه الاختبارات، يمكن تعيين سلوك الخط بالنسبة لتسرب التيار بدقة كافية لعمل التصميم لنظام الحماية الكامل. نتيجه هذا التصميم النهائية سوف توصيف وحدات التسرب (Drainage) عند نقطة معينة، تسرب كميات موصفه من التيار، لعمل التصميم التفصيلي للآنودات (Anode Beds) فهذا موضع آخر.

الطريقة الميدانية: يتم عمل الخطوات التالية بهدف :

١- الجهود الأستاتيكيه: (Static Potentials)

مباحث الجهد الماسورة إلى التربة تتم على كل الخط، يوصي باستخدام أسلاك توصيل للاختيار مستديمة، ولكن الالتصاق بالخوابير يكون ضروري . الفواصل قد تتغير ما بين عدد قليل من مئات الأقدام على التغطية الضعيفة إلى عدة أميال على التغطية الجيدة، عادة معابر الطرق ستكون مناسبة . يتم أخذ القراءات عند كل أنابيب التغليف (القيسونات – Casinges) (قراءات الجهد لكل من الماسورة وماسورة التغليف)، وعلى كل خطوط المعابر والمنشآت الأخرى والتى يمكن أن تسبب قفله (Shortened) أو أن تكون مصدر للتداخل في أى اتجاه . مثل هذه الإنشاءات تشمل بالإضافة إلى أنابيب التغليف، الكباري، الإطارات (Frames–A) ، إنشاءات التحميل من كل نوع، وأحيانا بعض الأشياء مثل الأسوار وأسلاك التثبيت .

٢- مدى الاستقطاب :(Polarization Run)

عند كل مكان محدد، يفضل أن يكون مناسب لوضع جهاز المقوم (Rectifier)، يتم عمل نقطة تسرب مؤقتة ثم يتم صرف (تسرب) تيار ثابت لمدة زمنية من واحد إلى ثلاث ساعات. جهد الماسورة – إلى – التربة لنقطة قريبة (خلال أميال قليلة، على خط جيد التغطية، عدة مئات من الأقدام على خط ضعيف التغطية) يتم ملاحظته أثناء هذه الفترة لمتابعة مسار الاستقطاب . قيمة التيار الذي يستخدم يجب أن تكون كبيرة بما يكفي لتغطية جزء طويل مفيد من الخط – ربما كل الخط

ولكن يجب ألا يكون كبيرا . الجهد الماسورة – إلى – الخط قريبا من نقطة الصرف (التسرب) يجب ألا يزيد عموما عن ٣ فولت .

٣- أبحاث الجهد: (Potential Survey)

الآن يتم إدخال جهاز قاطع التيار أوتوماتيكيا أو على نحو دوري(Interrupter) في الدائرة يدويا أو آليا وتشغيله . الجدول (البرنامج) يتكون من فترات غير متساوية من الفتح والقفل لفترة زمنيه سبق تحديدها، ٤٠ ثانية فتح (توصيل، ON) ٢٠ ثانية (قفل – Off) وهذا مناسب جيدا للاستخدام . بهذا العمل يتم عمل المباحث للجهود ما بين

الماسورة . إلى – التربة عند كل النقط التي تم تغطيتها في (I) الجهود الاستاتيكية .

من المهم أن يتم استخدام نفس الموضع (المكان) للقطب كما كان مستخدم للجهد الاستاتيكي عند كل موضع . عند كل نقطة، يتم قراءة كلا من جهود الفتح (on)، والقفل (Off)، قراءة الفتح يتم أخذها مباشرة قبل القطع (Interruption) . يجب الحرص في أن هاتين القراءتين متطابقتين تماما ؛ يستخدم طول الموجة لهذا العرض . إنه ليس آمنا ليتم فرض أن القراءة العالية (الأكثر سلبية) هي دائما قراءة (ON) حيث أن ذلك هو الحال مع ماسورة أو قيسون معزول جيدا . يوصى عمل مخطط لهذه القيم في الموقع، مع أخذ القراءات، ذلك ليمكن كشف أى غرابة أو شيء غير مألوف والذي يتطلب قراءات إضافية .

٤- الاستقطاب ومراجعة التيار: (Polarization And Current Check)

أثناء عمليات المباحث يجب الاستمرار في عدة قراءات للجهد عند نقطة قريبة من نقطة الصرف (التسرب – Drain) ، وكذلك سلسلة من قيم التيار . المطلوب هو المحافظة على ثبات التيار خلال الاختبار إذا كان من السهل عمل ذلك . وعندما يستحيل ذلك، يكون من المفضل التغيير خلال مجال كبيره من القيم وبنعومة أفضل من التغير العادي والمفاجئ . في حالة عدم التغير الكبير في التيار، عندئذ يلزم أخذ قيمة واحدة فقط أو قيمتين أثناء مباحث الجهد . المباحث الناجحة تمت عادة فقط مع القيمة عند البدء والنهاية (جنبا إلى جبن مع تلك المأخوذة أثناء دورة الاستقطاب) . هذه القيم يتم كذلك توقيعها في الموقع .

٥- مباحث تيار الخط : (Line Current Survey)

في حالة توفر زوج من صفائح الاختبار (Test Leads) فإنه يتم تعيين تيار الخط على كل جانب من نقطة التسرب (الصرف)، وكذا من موضع بعيد في كل اتجاه. القيم المتوسطة يمكن كذلك أن تكون مفيدة، وخاصة إذا ثبت أن هناك منشآت على الخط مسببا لعطل التماس (Short Circuited) . كما في حالة قراءات الجهد، فإن تلك يجب أن تتكون من زوج من الفتح (ON) والقفل (Off) .

٦- التكرار عند الضرورة (Repeat As Necessary)

يتم اختيار نقط صرف جديدة وتكرار العملية الإجمالية حتى تمام تغطية كل

الخط بقيم كبيرة بما يكفي لتكون مفيدة . إنه ليس بالضرورة الحصول على حماية كاملة عل كل الخط، أو حتى على أى جزء منه .

توقيع البيانات على مخططات: (Graphical Presentation & Data)

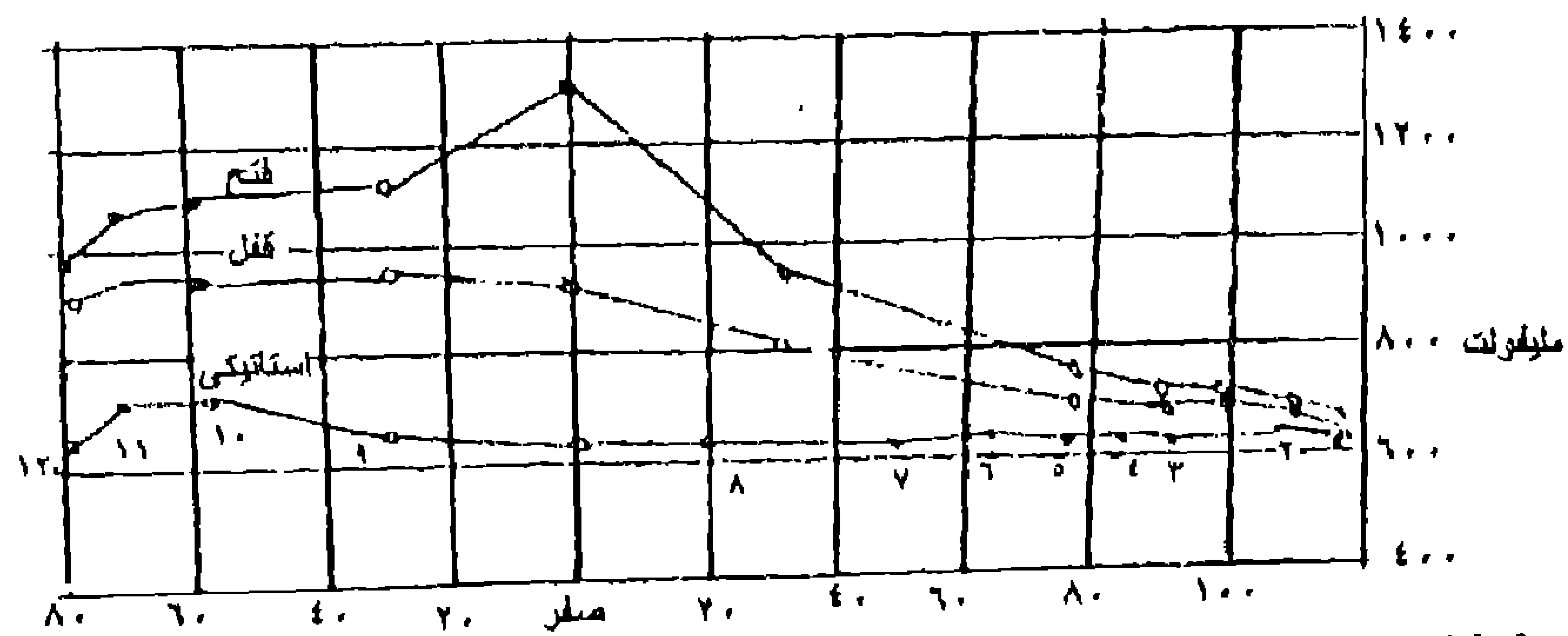
كل المعلومات التي تم تجميعها أثناء عمليات المباحث يجب عندئذ تحضيرها في شكل عدد من المنحنيات كالآتي :

١- التيار والاستقطاب : (Current and Polarization)

في كل دور اختبار، يتم توقيع قيمة التيار المتسرب (Drainage Current) والجهد مقابل الوقت . سيكونَ للمنحنى كثيرا من النقط قريبا من بعضها أثناء دورة الاستقطاب المبكر، وربما واحد أو أكثر فيما بعد، ولكن يتم دائماً التوقيع كمنحنى كامل. هذا سوف يمكن من الاستكمال (Interpolate) وبذا تحديد قيمة التيار السارى عند أى وقت معين، للربط مع قراءات مختلف الجهود (Potentials) .

٢- منحنيات التوزيع الطولي : (Longitudinal Distribution Curves): شكل (٤/١)

يتم توقيع الآتي على منحنى منفرد مقابل المسافة على طول كل الخط: الجهد الاستاتيكي (Static Potential)، جهد الإيقاف (Off Potential)، جهد الفتح(On Potential)، وتيار الخط (Line Current) . سوف يكون هناك منحنى استاتيكي واحد، ولكن سوف يكون هناك واحد لكل من الآخرين لكل دورة اختبار . طبيعي، هذه سوف تتداخل، وقد يكون المطلوب التلوين لتوضيح الإنفصال . هذه المنحنيات سوف توضح معظم البيانات المأخوذة في الموقع في شكل مخطط .



شكل (٤/١) منحنيات التوزيع الطولي . توزيع جهد الماسورة التربة على طول الخط الفرق الواحد جداً بين النهايتين للخط الموضح يعود إلى القفلة للخطاء الغير محمى عند المقطع الأيمن . الوحدة الأفقية ١٠٠٠قدم .

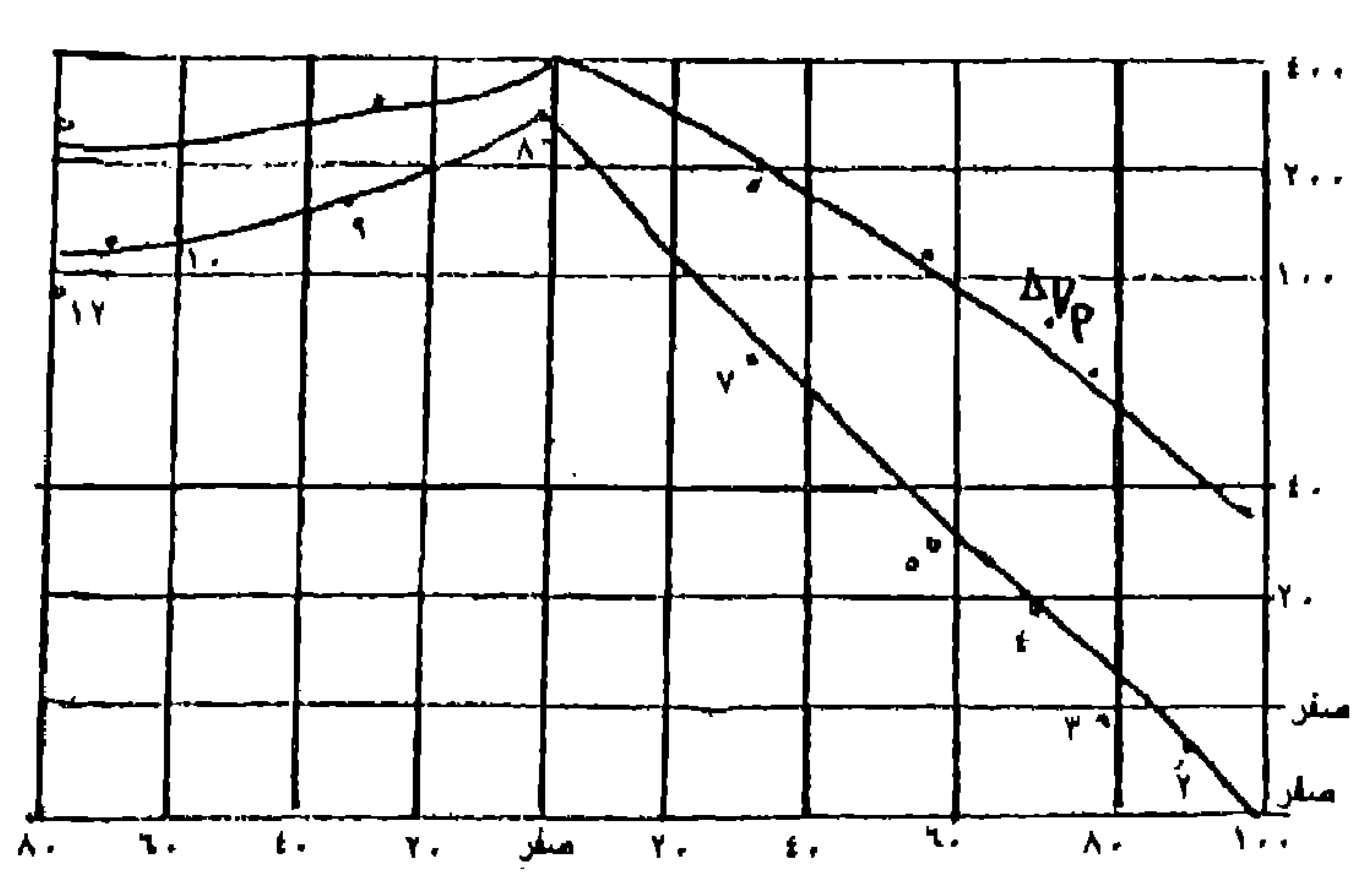
٣- ترقيق المنحنى (Attenuation curve) شكل (٤/٢)

مرة أخرى، على ورقة واحدة ولكن باستخدام الـــ (Semi - Log Paper) يتم توقيع الآتي مقابل المسافة (باستخدام التدريج الأفقي كما سبق) .

جهد الاستقطاب، ΔV_P وهذا هو الفرق ما بين جهد القفل (Off Potential) والجهد الاستاتيكي عند كل نقطة .

جهد الاندفاع (Driving Voltage): هذا هو الفرق ما بين جهد الفتح وجهد القفل عن كل نقطة .

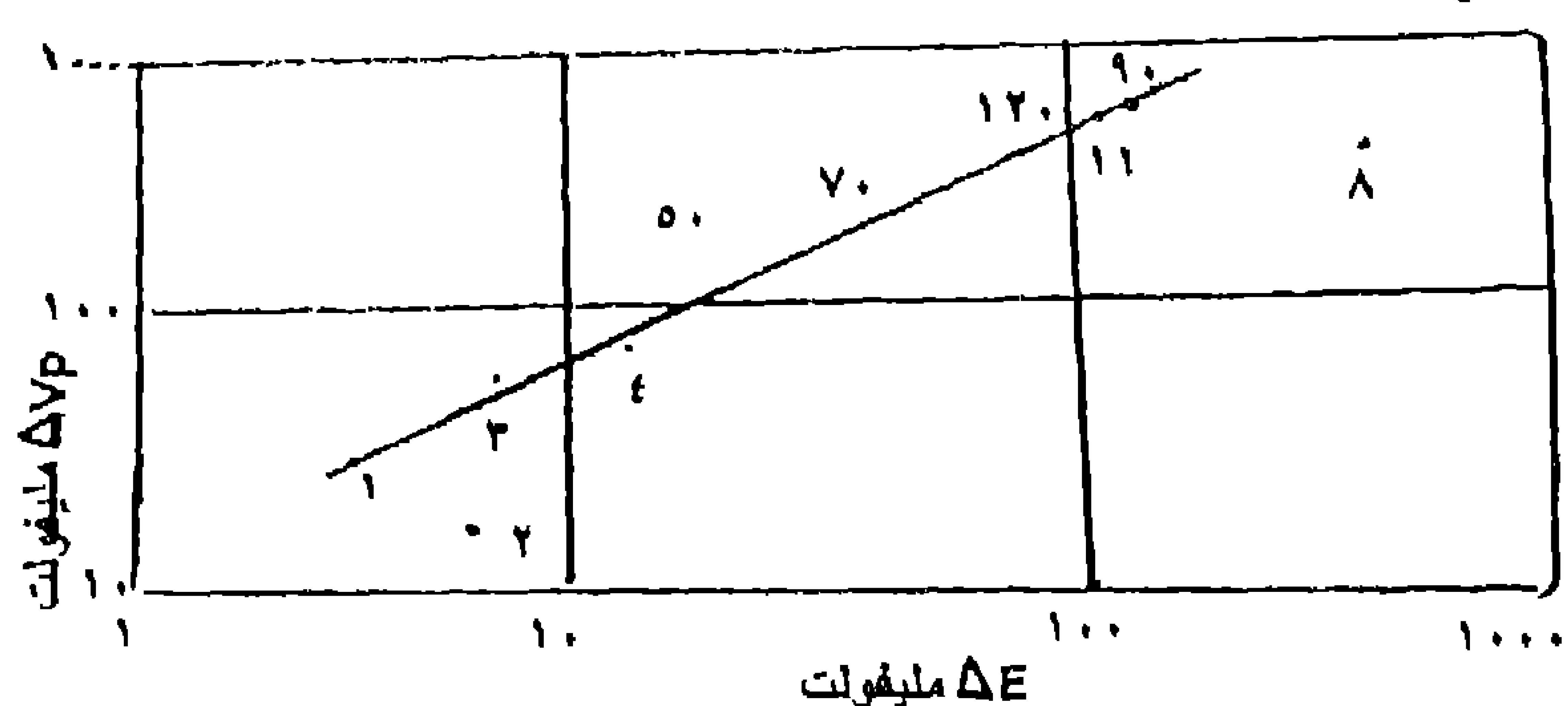
تيار الخط (Line Current) (Δ I): ثانيا فإن القيمة التي يتم توقيعها هي الفرق ما بين قيمة الفتح (ON) وقيمة القفل (Off) ، يجب الانتباه نحو الاتجاهات، مع أخذ الفرق الجبري . أى، إذا أظهر الاختبار ٤٠ ملى أمبير متدفقا نحو الشرق أثناء حالات القفل (Off) ، ٣٠٠ ملي أمبير متدفقا نحو الغرب أثناء جزء الفتح (ON) من الدورة، عندئذ (Δ I) هي ٣٤٠ ملى أمبير، النتيجة النهائية التى يتم الحصول عليها باختبار التيار .



شكل (٤/٢) الترقيق . فرق الجهد (ΔE) وجهد الاستقطاب (Δ VP) موقعين على ورقة نسبة لوغاريتمية مقابل المسافة على طول الخط، لخط طويل لا نهائي، مثل هذه المنحنيات يجب أن تكون خطوط مستقيمة، بالنسبة لخط ينتهي في وصلة معزولة، يتحدب لأعلى كما في المقطع الأيسر، وفي حالة المقطع في الأرض، يتقعر لأسفل كما في المقطع الأيمن ، أيام الاختبار على كل الأشكال .

٤- **مخطط الاستقطاب : (Polarization Chart)** شكل (٤/٣)

يتم عادة توقيع هذا على ورق (Log - Log) ، رغم أن النتائج عادة جيدة عند استخدام ورقة عادية طوليه. وهذا هو توقيع قيمة (ΔV_P) مقابل (ΔE) ، وعند عمل عدة اختبارات على نفس الخط، أو حتى حيث يوجد اختبارات مكررة على نفس المقطع بنفس أو باختلاف قيم التيار، فإن كل زوجين (Pairs) من كل القيم المأخوذة على خطوط مختلفة أو على مقاطع مختلفة إذا كان معلوما أن هناك اختلاف في حجم الماسورة، عمر الخط، أو نوع مادة التغطية . هذا المخطط عادة سيكون بشكل مبعثر وليس في شكل منحنى لطيف، عادة ينصح برسم خطوط تحديد وليس منحنى منفرد خلال النقاط . المخطط المرسوم في الشكل (٤/٣) هو الأفضل نحو درجة التأكيد عن المنحنى المنفرد .



شكل (٤/٣) مخطط الاستقطاب . من هذا المخطط الموقع، دلالة العلاقة ما بين فرق الجهد وجهد الاستقطاب يمكن الحصول عليه . نقطة الاختبار (٢) تعتبر شاذة . الشذوذ للنقطة (٨) يكون بسبب القرب من الآنود، القيمة الظاهرية لفرق الجهد عالية جدا .

مصادر التيار للاختبارات :

عندما يكون المطلوب تيارات كبيرة جدا من ٢٠ إلى ١٠٠ أمبيرات، فإنه يكون عادة استخدام ماكينة اللحام كمصدر لطاقة تيار مستمر (DC) المطلوب للاختبار. يمكن توفير قيم أصغر باستخدام بطاريات الشحن . يمكن توصيل أى عدد من هذه البطاريات بالتتالي للحصول على جهد عالي للطبقة الأرضية (الآنودات الأرضية) ذات المقاومة المتوسطة والعالية . استخدمت بطاريات ١٢ فولت للحصول على فولت مرتفع ١٢٠ فولت باستخدام ١٠ بطاريات على التوالي .

التيارات الصغيرة جدا حتى ٢ أمبير يمكن توفيرها باستخدام البطاريات الجافة العادية وذلك في حالة عدم توفر بطارية شحن . هذا يكون عادة مناسب عمليا فقط في حالة عدم توفر آنود منخفض المقاومة . عند توفر الماء المالح، كما في حالة القرب من السواحل البحرية، أو عندما تكون هناك حفره مياه مالحة قريبا من الخط المطلوب اختباره فإن آنود الماغنسيوم (حتى قطعة من سير من المغنسيوم) يمكن أن يعمل كآنود وكذلك كمصدر للطاقة . فقط في حالة توفر تربة أو ماء بمقاومة منخفضة جدا، كما في حالة المياه المالحة، يكون ذلك عمليا ، عدا في حالة احتياجات الخط صغيرة جدا.

أحيانا يمكن استخدام خط مجاور أو مقاطع تحت الحماية الكاثودية، أو مقطع مجاور معزول تحت الحماية مسبقا . في هذه الحالة، يكون من الضروري فقط توصيل وصلة تخطى أو عبور من الخط المحمي للآخر تحت الاختبار، مع إدخال أداه القطع الدوري للتيار في هذه الوصلة .

الآنودات الأرضية المؤقتة: (Temporary Ground Bed)

لتصريف تيار الاختبار إلى الأرض، يجب إيجاد طبقة آنود احتياطية أو أن تنشأ . قطع من الماسورة الخردة ٢ بوصة ، توضع في ثقب محفور ٦ بوصة مع ملئه بالماء المالح، شريطه أن لا تكون التربة رملية أو مسامية ملتصقة وهذا يعمل بطريقة جيدة . حقيقة أى منشأ معدني بمساحة كبيرة ملتصق بالأرض يمكن أن يستخدم وذلك رغم أنه معرض إلى التآكل بدرجة ما .

اختبار لمدة ١٠ ساعات سوف يزيد ٠,٣٦ أوقيه من الصلب لكل أمبير من تيار الاختبار .

من الأعمال العادية رغم الشك في صلاحيتها، هو استخدام خط أنابيب آخر أو مقطع آخر (فوق فلنجه العزل) لنفس الخط للآنود . المخاطر التي تحدث قليلة أو لا تقاس على الخط الغير محمى بطبقة حماية (Bare Line) ، ولكن في حالة الخط المحمى بطبقة غطاء للحماية فإن التلف يمكن أن يكون مركزا في قليل من الثقوب الناتجة من تلف طبقة الحماية . في أى الأحوال، عند استخدام هذه التقنية فإن الدورة العادية فتح (ON) وقفل (Off) يتم انعكاسها ، حيث يستخدم كمثال ١٠ ثوان فتح ، ٥٠ ثانية قفل .

بهذه الطريقة فإن التعرض الحقيقي يكون أقل ما يمكن، ولكن كذلك حقيقة فإن الاستقطاب سيكون أقل .

حالات خاصة: (Special Conditions)

أحيانا توجد جهود متغيرة والتي تسبب استحالة أخذ الجهود الاستاتيكيه . وهذه توجد بالتحديد في الخطوط ذات التغطية الجيدة للحماية، في التربة ذات المقاومة العالية، وفي خطوط العرض الشمالية (البعيدة عن خط الاستواء) . أحيانا توجد تغيرات مشابهة مصاحبه للعواصف – حيث حالات العواصف قد تكون على بعد مئات الأميال، بالنسبة للخط الجاري بحثه، ذلك مع وجود مناخ عادى عند النقطة الجاري ملاحظتها .

هذه عموما مؤقتة والحل هو أن تعود ثانيا في يوم آخر (العمل حول وصلات معزولة ومعرضة بشكل خطورة في الجو العاصف). ولكن بالنسبة للظروف المصاحبة للتيارات الأرضية، كما سبق شرحه، لا يوجد هناك حل . يجب الحرص في مراجعة الجهد مباشرة عبر (فوق) كل وصلة معزولة، والجهد ما بين الماسورة وكل قيسون (Casing) ، بدلا من مجرد مراجعة الجهود الاثنين للماسورة – إلى – التربة ؛ ولكن الجهود الاستاتيكية الحقيقية لا يمكن أخذها، لذلك فإن التصميم يجب أن يشمل درجة من عدم التأكيد .

الفصل الخامس

5

نظم تحويل التيار المتغير إلى تيار مستمر للخطوط المغطاه بطبقة حماية

Rectifier Systems For Coated Lines

نظم تحويل التيار المتغير إلى تيار مستمر للخطوط المغطاة بطبقة حماية

Rectifier Systems For Coated Lines

المبادئ العامة للتصميم :

الطرق التي سيتم تناولها هنا مبنية على بيانات المباحث الناتجة والموقعة بالطرق تم شرحها في الفصل الرابع .

هي أساسا طريقة المحاولة والخطأ، وليست حل رياضي مباشرة . هذا هو الحال بالضرورة، ذلك لأن التحليل الرياضي لترقيق التيار والجهد على طول خط المواسير يعتبر معقد إلى حد ما حتى في حالة فرضيات التجانس، هذا بالإضافة إلى أن الاختيار للمواقع العملية لأجهزة تحويل الترددات هي دائما محدودة، لذلك فإن التصميم يجب أن يتكيف ليتناسب معهم .

منحنيات التخفيف (الترقيق) : (Attenuation Curves)

عند صرف التيار من نقطة واحدة على خط المواسير ثم تفريغه إلى التربة، فإن تأثيرات هذا الصرف أو التفريع (Drainage) – تيار الخط، كثافة التيار على سطح الماسورة، وجهد الماسورة إلى التربة كل هذه عند أقصاها عند نقطة الصرف، وتنخفض مع البعد عن هذه النقطة .

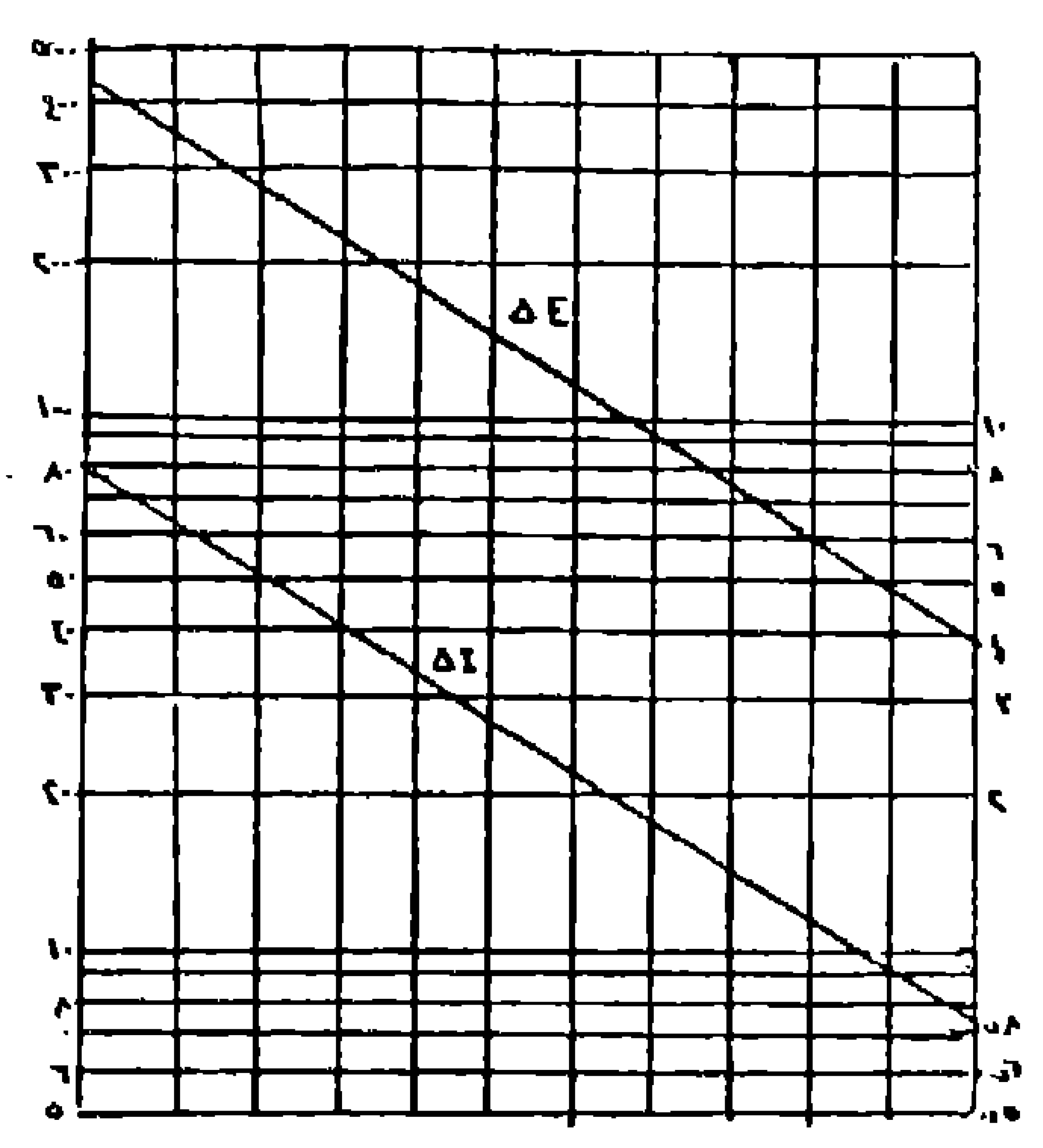
الطريقة التي يحدث بها هذه الانخفاض تسمى دلالة التخفيف أو الترقيق للخط. تتأثر هذه الدلالة بعوامل كثيرة، من بينها مقاومة الماسورة (والتي تختلف مع الوزن)، التغطية للحماية، مقاومة التربة، التوصيلات مع إنشاءات أخرى، طريقة نهاية الخط . في حالة تجانس وزن الماسورة، طبقة التغطية، مقاومة التربة أو قريبا من التجانس وأنه لا توجد توصيلات غريبة وأن النهاية بسيطة، عندئذ فإن دلالة التخفيف تكون بتعبير رياضي بسيطة نسبيا في هذه العوامل النتائج في التعقيدات في الدلالة .

نظرا لأن منحنى الترقيق الرياضي للخط الطويل يكون دليل (أسى) Exponential فإنه عادة يتم توقيع كل منحنيات التخفيف على ورق شبه لوغاريتمي (Semi -Logarithmic) ، الذي عليه يوقع المنحنى العالي (Exponential Curve) كخط مستقيم .. التدريج الأفقي، الذي هو ليس لوغاريتمي يمثل المسافة على طول الخط، في وحدات من الأميال، القدم، أو آلاف الأقدام، كما يكون مناسب . التدريج الرأسي يستخدم لتوقيع ΔE (فرق الجهد) و ΔI (تيار الخط) .

يلاحظ أن ما يتم توقيعه هنا هو التغير في الجهد أو التيار عند حدوث ٣ في تيار الاختبار . التيارات الشاردة، الجهود الاستاتيكية (Static potentials) ، وتأثيرات الاستقطاب كلهم يتم إبعادهم من القيم الموقعة .

الخطوط يمكن تقسيمها بالنسبة لسلوك الترقيق، وذلك بالنسبة لعمليات الترقيق على أربعة درجات رياضية ، وهي : خطوط طويلة جدا، خطوط طويلة، خطوط قصيرة، وخطوط قصيرة جدا . هذه الدرجات ليست مقسمة بدقة، حيث تتداخل قليلا فيما بينها، كما يجب معرفة أن التقسيم اختياري . قبل تعريف هذه الحالات، يكون من المفضل تناول ما هو الأبسط رياضيا بالنسبة للكل – الخط الطويل بلا نهاية .

في حالة صرف تيار من خط منتظم وطويل بلا نهاية من نقطة واحدة، وأن الصرف يتم إلى الأرض خلال آنود بعيد بلا نهاية، فإن كلا من ΔE ، ΔI (وكذلك i Δ، كثافة التيار الكاثودية) ستكون دلالات أسيه صحيحة جيدة . هذه موضحة في الشكل (٥/١) .

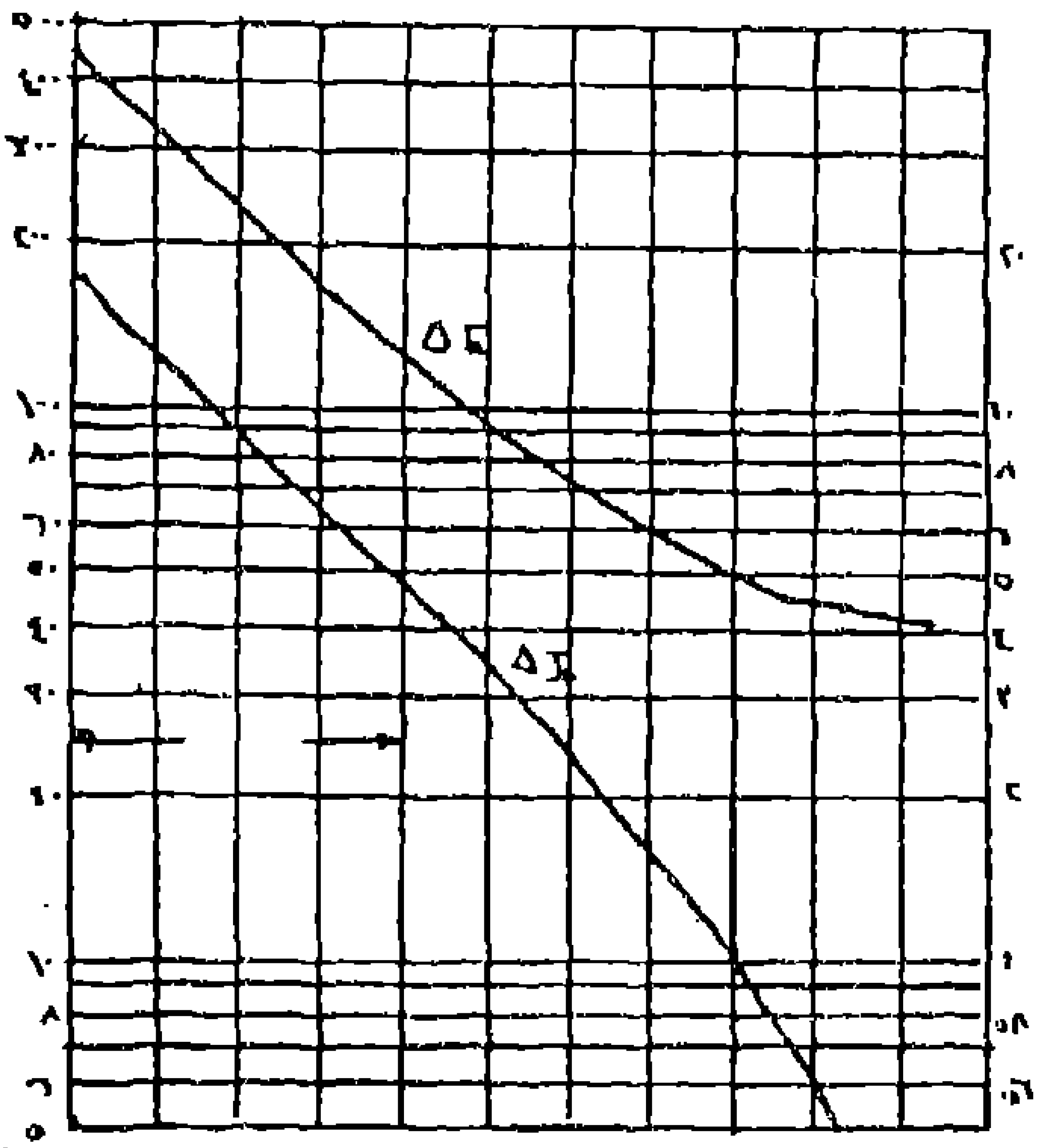


شكل (٥/١) منحنيات الترقيق لخط لا نهائي . معدل هبوط فرق الجهد (ΔE) وتيار الخط (ΔI) مع المسافة من نقطة الصرف . التدريج الأفقي يمثل المسافة على طول خط المواسير كل قسم قد يمثل حوالي ٥٠٠ قدم (خط ضخم غير مغطى في تربة ذات مقاومة ضعيفة) إلى حوالي ٢٥٠٠٠ قدم (في حالة التغطية الجيدة جدا) .

من المهم ملاحظة أن الميول (Slopes) للمنحنيات ΔE ، ΔI هي نفسها؛ منحنى Δi (غير مبين) سيكون له نفس هذا الميل، والذي نادرا ما يستخدم عمليا ، دائما له نفس الشكل مثل منحنى ΔE . هذا حقيقة واقعة عدا في حالة التغيرات في قطر الماسورة. في حالة الواقع، إذا تم صرف التيار من خط طويل جدا، فإن الترقيق يكون تماما مثل ما تم وصفه حالا . يمكن عند التقريب الجيد إلى الخط المستقيم أن الأجهزة المستخدمة لا تستطيع توفير الفرق . في حالة الخط بطبقة التغطية الممتازة، هذا هو هو الحال عادة، حتى في حالة وجود تغير كبير في مقاومة التربة على طول الخط . الخط الطويل جدا، عندئذ، يكون هو الذي يكون سلوكه طبقا لما يخبرنا به الجهاز ، مثل الخط اللانهائي . طبقا لإمكانات التتبع، فإن كلا من ΔE ، ΔI تتبع أساسا خطوط مستقيمة، وكلا المنحنيين لهم نفس الميل .

الخط الطويل هو ذلك الذي يبدأ مثل الخط اللانهائي – كلا المنحنيين مستقيم، كلاهما بنفس الميل – ولكن الذي يظهر انحناء محدد في الخطوط قبل تأثيرات الاختبار أن تكون صغيرة جدا بالنسبة لإمكان قياسها . المنحنيات في الشكل (٥/٢) تبين هذه

الخاصية . في حالة امتداد القياسات فقط فوق جزء من الخط المبين بين السهمين، فإنه سيكون من الصعب معرفتها من خط لا نهائي . ولكن للإعداد بالنسبة لتصنيف الخط الطويل ، فإنه يجب أن يكون طويلا بحيث أن يكون الجهد عند النهاية لا يمكن كشفه أو ليس كبيرا بما يحقق الإفادة .

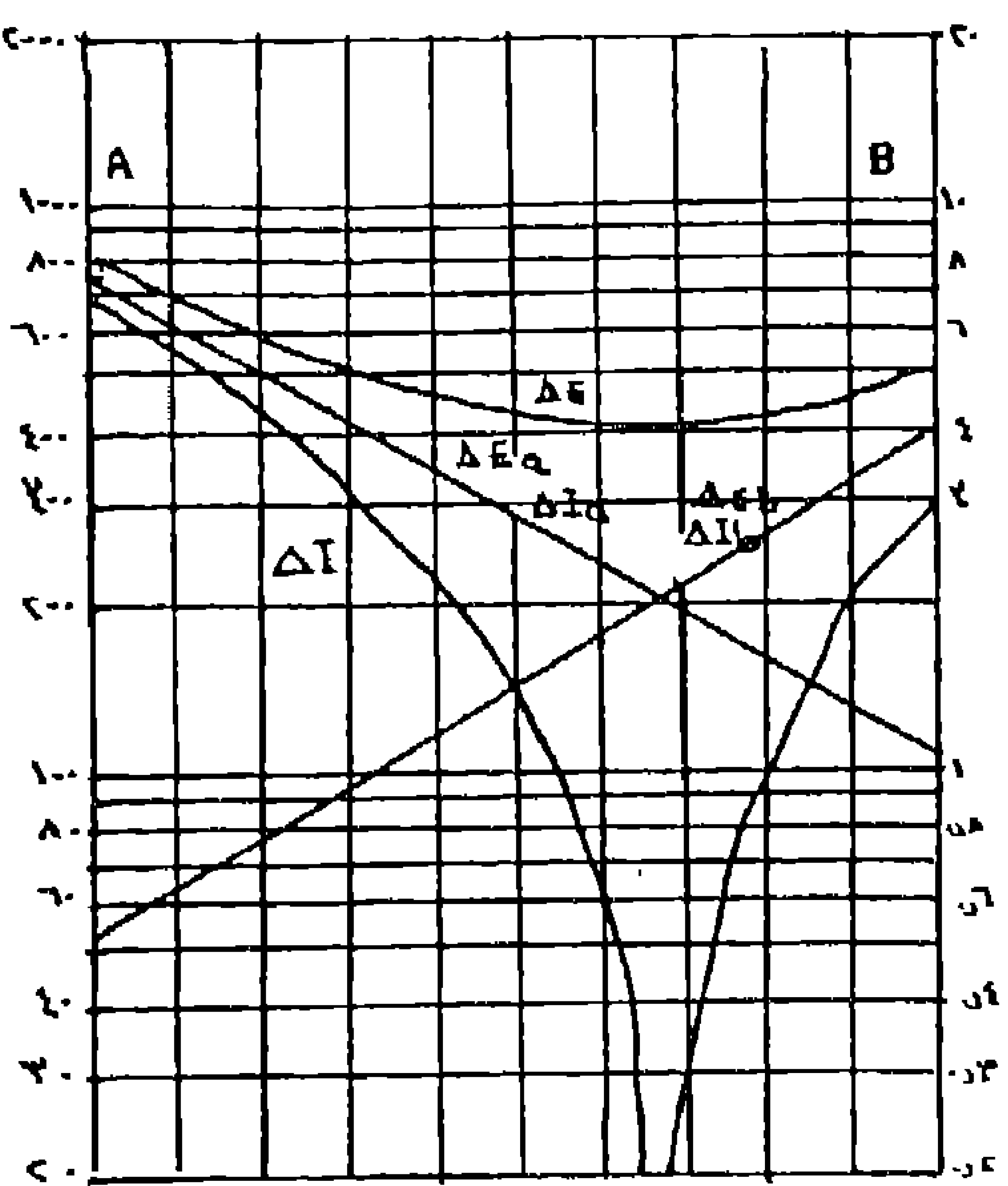


(شكل ٥/٢) منحنيات الترقيق لخط منتهى. عند نهاية الخط في نقطة معزولة، فإن المنحنيات تأخذ الشكل الموضح. فرق الجهد يصبح أفقي عند النهاية، بينما تيار الخط يستمر إلى الصفر . يمكن ملاحظة أن بالاختيار الجيد للتدريج الراسى، فإنه يمكن التعبير عن أى هذه المنحنيات كمشتق من الآخر . في حالة تبادل ΔE ، ΔI، فإن المنحنيات السابقة تستخدم للخط المنتهى إلى "صفر" مقاومة للتربة .

الخط القصير (Short Line) ، هو ذلك الذي طوله بحيث أن تكون النتائج عند النهاية كبيرة بما تحقق الإفادة منها . يمكن اعتبار أن طول الخط يعتمد على حساسية الجهاز المستخدم، ولكن هذا يقابله الحقائق طبقا للحالة . لذلك، فإن الخط الذي هو طويل لجهاز ما قد يكون قصيرا بالنسبة للآخر .

طريقة أخرى حيث يختلف الخط القصير عادة عن الخط الطويل هو أن الميل الأولى لمنحنيات ΔE ، ΔI سيكون مختلف . الجزء الأيسر من الشكل (٥/٠٣) قد يعتبر ممثلا للخط القصير ويمكن ملاحظة أن الانحنائين ليسوا بشكل واحد، حيث مازالا في خطوط قصيرة، لذلك يكون رغم ذلك أكثر صعوبة .





شكل (٥/٣) منحنيات التدقيق بين نقطتين صرف. الجزء من هذا المخطط الواقع على كلا جانبي النقطة حيث يتقاطع الخطين المستقيمين، فرق الجهد يكون عند أدناه، وتيار الخط يكون صفر، يشبه رياضيا المنحنى في الشكل (٢/ ٥) . بمعنى آخر . الوصلة المعزولة يمكن توصيلها في الخط عند النقطة حيث تيار الخط صفر بدون التأثير على السلوك في أى نقطة .

الخط القصير جدا (Avery Short Line): هو ذلك الخط القصير بحيث أن يكون هناك اختلاف قليل أو لا توجد اختلاف ، أو لا يوجد اختلاف مفيد، وذلك للجهد عند نقطة الصرف وعند النهاية . بمعنى أخر ΔE لا يتغير كثيرا من نهاية إلى نهاية . هذا يعني أن الخط سوف يكون سلوكه الأساسي كما لو كان قطعة معدن معزولة في التربة، الكل عند نفس الجهد . إنه كذلك حقيقي لمثل هذا الخط أن التيار (ΔI) يكون صغيرا جدا لإمكان قياسه بدقة (وهذا حقيقي فقط في حالة الخط المغطى) ؛ يمكن قياسه في دائرة الصرف، باستخدام الأميتر، ولكن ليس في الخط نفسه بواسطة فرق الجهد (IR Drop) .

نهاية الخط : (Line Termination)

لا يوجد أى خلاف كيف ينتهي الخط الطويل . في حالة نهاية الخط الطويل في وصلة معزولة، سيكون هناك حيود ملحوظ في منحنيات ΔE ، ΔI قرب النهاية، كما هو موضح في الشكل (٥/٢) . نفس الحال ينطبق للخط القصير، الفرق يكون فقط

في قيمة ΔE عند النهاية . في حالة نهاية أى من هذين القسمين بالتوصيل بمنشأ غير مغطى أرضي كبير، مثل خزان، فإن منحنى ΔEسيذهب إلى الصفر، بينما منحنى ΔI سيصبح أفقي . الخط القصير جدا يجب أن يكون معزولا ليسلك مثل ذلك، في حالة توصيله أرضي (Grounded) ، فإن خواصه لا يمكن تعيينها .

من المفيد ملاحظة أنه في حالة الخط الطويل، حيث الميول الأولية للمنحنيين بنفس الشكل، فإن قيمة ΔE عند النهاية المعزولة هي تمام ضعف القيمة المتحصل عليها بتوقيع (Projecting) الخط المستقيم الأصلى . في حالة الخطوط القصيرة، إذا لم يكن هناك اختلاف كبير في المنحنيات، فإن هذا ينطبق، ولكنه لا ينطبق مع الخطوط القصيرة جدا، (Shorter Lines) .

تأثيرات قرب الآنود : (Anode Proximity Effects)

في الاختبار الحقيقي أو منشأ الحماية الكاثودية، مقارنة بما تم وصفه للنموذج الرياضي فإن الآنود سيكون على مسافة محدودة (Finite) من الخط . فرق الجهد (IR Drop) حول الآنود عندئذ سوف يؤثر على الجهود المقاسة على طول الخط، وقيم ΔE قرب نقطة الصرف – أو، بدقة أكثر، قرب الآنود – ستكون مرتفعة جدا .

هذا يبين كحدوث ذروه (Peaking) محلية ، حيث يوجد حيود واضح عن المنحنى القطري المتوقع . في الحالات حث تكون نقطة الصرف ليست معاكسة (Opposite) .

مباشرة الآنود، فإن (The Peak Shows Up The Anode) . لأغراض التصميم تؤخذ قيمة ΔE_0 كالقيمة الحقيقية المقاسة عند نقطة الصرف، ولكن يتم أخذهم بامتداد المنحنى إلى الخلف إلى النقطة .

الترقيق مع عديد من نقط الصرف: (Attenuation With Multiple Drain Points)

توزيع الجهد والتيار على طول الخط مع وجود نقطتين صرف أو أكثر يتحدد بواسطة (Super Position) للمنحنيات المنفردة الناتجة من كل نقطة إعتبارها منفردة .
ΔE الحقيقي عند أي نقطة مغطاة هو مجموع كل الـــ (ΔE's) من كل نقط الصرف،

وΔI الحقيقي هو مجموع كل الــ (ΔI 's) ؛ في الحالة الأخيرة يجب الاهتمام بالترقيق بالنسبة لاتجاه التيار، في حالة تدفق ΔI في اتجاه الشمال واعتباره موجب، عندئذ ΔI المتدفق في اتجاه الجنوب يؤخذ كسالب . الشكل (٥/٣) يوضح مقطع في خط المواسير ومنحنيات ΔI من كل منهم، ونتيجة ΔE ، ΔI لكل حالة حقيقية .

عند التوقيع لهذه المنحنيات المركبة، يجب ملاحظة أن القيم العددية للتيار والجهد يتم إضافتها، وليس اللوغاريتمي، أى تستخدم القيمة المطلقة للتيار، بصرف النظر عن العلامة، وأن حالات تساوى ميول المنحنيين حيث يتطابقا أو يمكن أن يتطابقا بالاختيار المناسب للمقياس، كما يحدث للمنحنيات من نقطة صرف واحدة .

طريقة التصميم : (Design Procedure)

استخدام هذه المنحنيات بالنسبة لمشكلة التصميم الحقيقية يتم كالآتى:

يتم اختيار موقع مناسب لجهاز تثبيت التيار (Rectifier) ، باستخدام البيانات المتاحة عن الطاقة يتم اختيار التربة ذات المقاومة المنخفضة والقريبة وافتراض قيمة الصرف من هذا الصرف باستخدام بيانات الاختبار المتحصل عليها . الجهد الحقيقي للماسورة – إلى – التربة عند أى نقطة يمكن استنتاجه بإضافة الجهد الاستاتيكي (من المباحث) زائد فرق الجهد (Driving Voltage) من منحنى الترقيق زائد جهد الاستقطاب (من منحنى ΔV_p مقابل ΔE) .

يمكن أن يكون كل المقطع الجاري تناوله محقق له الحماية المناسبة من نقطة صرف وحيدة مفروضة . في حالة خلاف ذلك. عندئذ يتم اختيار طريقة أخرى، وتحضير منحنيات ترقيق لها كذلك . عندئذ يتم دراسة المقطع بين الاثنتين باستخدام طريقة التطابق (Superposition) . بالنسبة لأى نقطة مغطاة ، يتم استنتاج الجهد الماسورة – إلى – التربة بإضافة الجهد الاستاتيكي زائد مجموع فروق الجهد (2 Driving Voltages) ، زائد جهد الاستقطاب الممكن انتسابه لفرق الجهد المركب هذا . عد استخدام المحاولة والخطأ أمكن وجود ضم وتوافق لنقط الصرف والتي توضع كل الخط تحت الحماية ، فإنه يتم إيجاد نظام والذي يكون كافيا لهذه الحالات .

الميزان الاقتصادي :

توجد عوامل كثيرة لها تأثير على أفضل تصميم مناسب للعمل به وليس بمبادئ الخطوط العامة، وخاصة في المجال الحقلي . أقل تكاليف أولية هي تلك التي تستخدم أصغر عدد من نقاط الصرف، كل ذات حجم كبير نسبياً، ومحددة عادة بأقصى جهد مسموح به للماسورة – إلى – التربة . أقل تكاليف تشغيل ستكون هي تلك التي تستخدم عدد كبير من نقط الصرف الصغيرة بفواصل أصغر، بما يحقق تجنب الفقد في الطاقة المستخدمة في الحماية الزائدة للمقاطع (Over - Protecting Sections) قريبا من الوحدات .

في مكان ما بين هاتين الحالتين للحدود القصوى سيكون هناك نظام أكثر جاذبية وقبولاً من جميع وجهات النظر – أولاً – التكلفة ، التشغيل ، الصيانة ، الإشراف.

يعتمد الاختيار الأخير بعيدا إلى حد ما عن الظروف الحقلية. العوامل مثل توفر الاعتمادات المالية، معدل الاقتراض والضرائب وظروف الدخل . غالباً يكون القرار للإدارة، حيث يوفر مهندس التآكل التحليل الفني الذي سيتم استخدامه .

الفصل السادس

6

تصميم الطبقة الأرضية وإنشائها

Ground Bed Design And Installation

تصميم الطبقة الأرضية وإنشائها

Ground Bed Design And Installation

مبادئ التصميم : (Design Principles)

التصميم المثالي لنظام الحماية الكاثودية هو ذلك الذي يحقق الدرجة المطلوبة من الحماية بأقل التكاليف الإجمالية الثانوية خلال العمر الافتراضي للمنشأ المطلوب حمايته. التكاليف الكلية الثانوية تعنى مجموع تكاليف الطاقة والصيانة وفوائد الاستثمارات الرأسمالية . كلا من تكاليف التشغيل (استهلاك الطاقة) وتكاليف الإنشاء تتوقف على مقاومة الطبقة الأرضية . هذه الكمية تشغل دور رئيسي في تصميم أى نظام حماية كاثودية بالتيار التأثيرى (Impressed Current) .

يجب ملاحظة أن أقل مقاومة للطبقة الأرضية هو الأفضل، وكذلك ليس تلك ذات أقل التكاليف في الإنشاء، أو ذات أقل استهلاك للطاقة .

ولكن ذلك حيث مقاومته تناسب كل النظام الذي يحقق أقل تكلفة سنوية . في مرحلة ما من عملية التصميم الذي سبق وصفها في الفصل السابق، فإنه قد تقرر بشكل مؤقت أو تجريبي على الأقل – بصرف كمية معينة من التيار من الخط عند نقطة معينة . يكون عندئذ من الضروري تصميم الطبقة الأرضية ومجموع الآنودات الذي سيعمل ذلك بأقل التكاليف السنوية . الاختيار الأول المطلوب استخدامه هو نوع الآنود اللازم استخدامه . في معظم الحالات سيكون ذلك صف من الآنودات الرأسية ذات الفواصل المتساوية، الأنواع الأخرى والحالات الخاصة حيث من المحتمل أن يكونوا الأفضل سيتم مناقشتها لاحقا .

بعد اختيار النوع – يتم تحديد صف الأعمدة – البند التالى الذي يلزم تعيينه هو القطر الكلى والفاصل، وأخيرا العدد الكلي للآنودات المطلوب استخدامها .

من بين أنواع الآنودات الرأسية المستخدمة عادة، فإن المفضل عادة هو القضيب من الجرافيت ، عادة بقطر ٣ بوصة وطول ٦٠ بوصة موضوع في وسط عامود إسطواني من نفايات تراب الكوك المدكوك جيدا . عامود الكوك هو الآنود

الحقيقي؛ القضيب يعمل فقط للمحافظة على الالتصاق . قطر العامود يتراوح ما بين ٨ بوصة إلى ١٦ بوصة أحيانا يكون أكبر من ذلك، حيث يكون القطر ١٠ بوصة هو العادى . الأعماق المستخدمة عادة من ٨ قدم إلى ١٢ قدم عموما ولكن العمق ١٠ قدم هو العادى . عموما يكون النموذج هو آنود الجرافيت ٣/٦٠ بوصة في ١٠ بوصة × ثقب ١٠ قدم مع عامود ردم ممتد حتى خلال ٢ قدم من سطح الأرض .

مقاومة آنود واحد من النوع الذي تم وصفه إلى الأرض يعبر عنه بالمعادلة

$$R = \frac{P}{2\Pi L} \; In \frac{4L}{ae}$$

حيث:

R = المقاومة بالأوم (Ohms)

P = مقاومة التربة (يفترض ثباتها إلى عمق كبير)

L = طول عامود نفايات الكوك بالسنتيمتر .

a = قطر العامود بالسنتيمتر .

e = هو أساس اللوغاريتم العادي e = 2. 718

In تعنى اللوغاريتم الطبيعي

يمكن تبسيط ذلك إلى :

$$R = 0.12 \frac{P}{L} \text{Log} (35 L / d)$$

حيث :

R = المقاومة بالأوم (Ohms)

P = مقاومة التربة أوم – سم (يفترض ثباتها عن كل الأعماق) .

L = طول عامود تراب الكوك بالقدم .

d = قطر العامود بالبوصة .

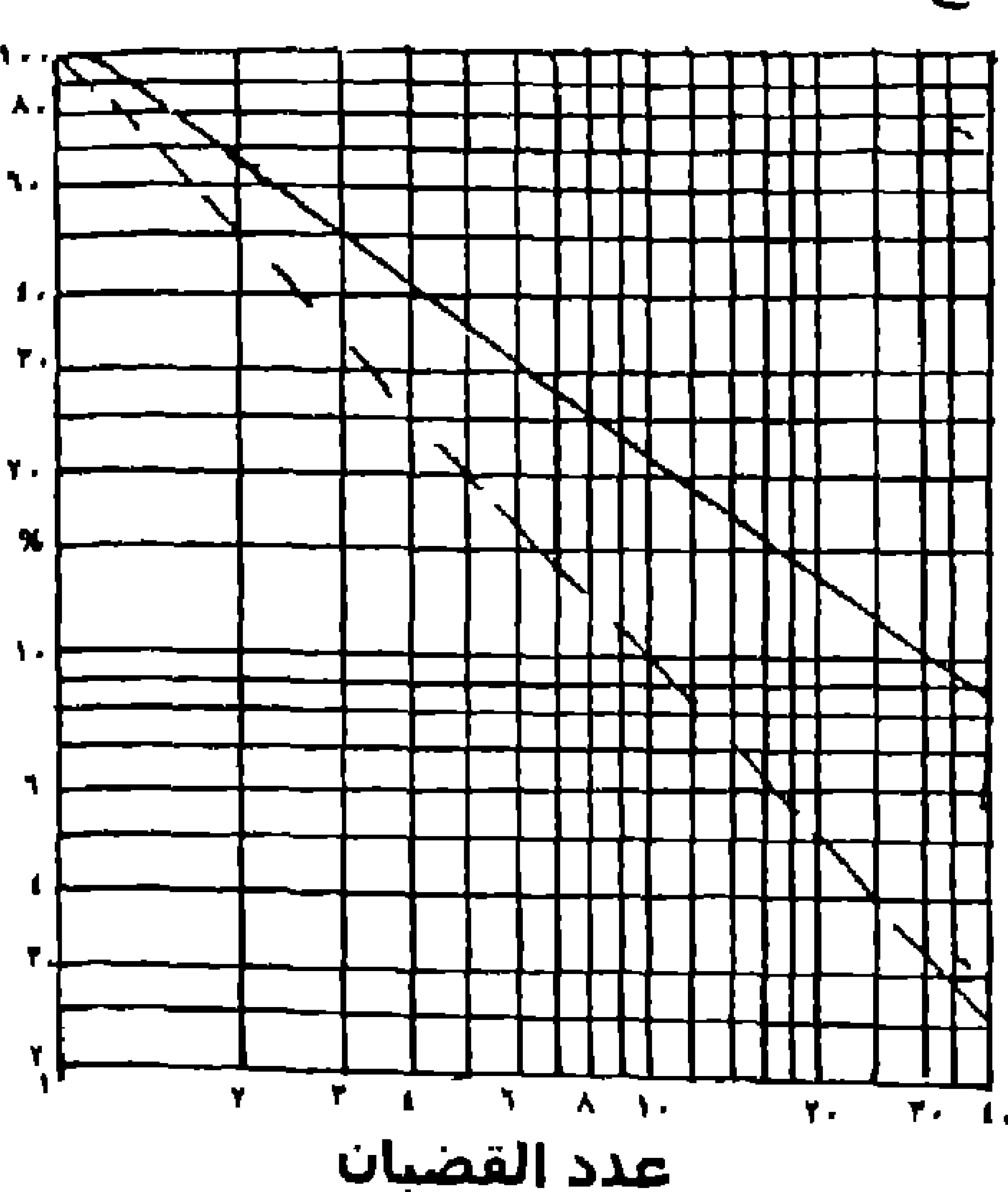
كما هو موضح باللوغاريتم ، فإن اللوغاريتم العادي هو المستخدم .

عند استخدم هذه المعادلات بالنسبة للأبعاد التي تم ذكرها، فإن :

قطري عامود تراب الكوك بالبوصة هو ١٠ بوصة ، وعمق ٨ قدم – النتيجة (بواسطة أى من المعادلتين) هي :

$$\frac{P}{500} = R \quad \text{أو} \quad 0.002\,P = R$$

هذا هو حساب تقريبي جيد للتذكرة بالمقاومة إلى الأرض لآنود عمودى واحد. عند توصيل عدة آنودات على التوازي، فإن مقاومة الكل هي أكبر من القيمة الناتجة عن قسمة مقاومة آنود واحد على عدد الآنودات . وهذا يرجع إلى التداخل بين الآنودات المتجاورة ، أو بسب تجمع (Crowding) ممرات التيار في الأرض، حيث أن كثافة التيار وبالتالي إجمالي الانخفاض في الفولت (Drop) سيكون أكبر عما كان حول آنود واحد . عند وضع الآنودات في خط مستقيم بفواصل متساوية – الترتيب العادي – المقاومة الكلية للمجموع يمكن حسابها بالمعادلة التالية . شكل (٦/١) .



شكل (٦/١) مقاومة عدد من القضبان على التوازى .المنحنى يوضح المقاومة الكلية للأرض لعدد من الآنودات الجرافيت ٣ بوصة في ٦٠ بوصة كل مركب في ١٠ قدم من حبيبات الكوك المدكوك بقطر ٨ بوصة، عند التوصيل على التوازى في خط مستقيم بفاصل ٢٠ قدم . يعبر عن المقاومة الكلية كنسبة المقاومة للقضيب الواحد . في حالة فرضية أن التربة ذات مقاومة متجانسة، فإنه إذا زادت المقاومة مع العمق ، فإن المنحنى سوف يرتفع ، إذا قل فسوف ينخفض . الخط المهشر يوضح المقاومة المتوازية والتي يمكن الحصول عليها في حالة عدم وجود تداخل .

$$Rn=\frac{P}{\Pi n}\left\{\frac{1}{2L}In\left(\frac{4L}{ae}\right)+\frac{1}{S}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+..+\frac{1}{n}\right)\right\}$$

حيث:

n = عدد الآنودات

S = الفاصل بين الآنودات .

كل الأبعاد بالسنتميتر كما في المعادلة السابقة .

كل هذه المعادلات مبنيه على فرضية أن مقاومة التربة واحدة إلى عمق كبير؛ وهذه الحقيقة نادرة جداً، ولكنه من الصعب عادة تقرير قيمة المقاومة اللازم استخدامها. بالنسبة لآنود واحد، يكون عادة استخدام قيمة مقابلة لفاصل الخابور (Pin Spacing) وهذه تكون أقرب إلى الدقة ، طريقة الأربع نهايات (4 Terminal Method) ، تساوى العمق نحو مركز عامود الآنود . في هذه الحالة، يتم استخدام القيمة ٦ قدم .

ولكن في حالة الآنودات المتعددة فإن الموقف يختلف . يتوقف تأثير تداخل المجموع على مقاومة التربة على أعماق أكبر . سيتم توفير نتائج جيدة في حالة استخدام قيمة في مقابلة الفاصل بين الخوابير (Pin Spacing) ، تساوى الفاصل بين آنودين .

بغرض استخدام هاتين القيم المختلفتين في نفس المعادلة، يكون من الضروري عمل بعض العمليات الجبرية عليها، وذلك لفصل الجزئين. إذا كان في نفس الوقت، تم إدخال ثوابت (Constants) بما يسمح باستخدام الوحدات التقليدية بدلاً من السنتيمتر، واستخدام اللوغاريتم العادي بدلاً من الطبيعي – Touse Common Instead Of Natural Logarithms) – ، يتم الحصول على المعادلة التالية:

$$Rn=0.12\ \frac{P_1}{nL}\text{Log}\frac{35L}{d}+\frac{P_2}{S}\text{Fn}$$

Rn = مقاومة عدد (n) آنودات بالآوم

P1 = هي المقاومة عند الفواصل المساوية لعمق مركز الآنود بالآوم – سم

L = طول الآنود (عامود تراب الكوك) بالقدم

Log = تعنى اللوغاريتم العادي .

d = قطر عامود تراب الكوك بالبوصة .

P_2 = المقاومة عند الفواصل المساوية لفواصل الآنود بالآوم – سم

S = فواصل الآنود بالقدم .

Fn = معامل يشمل مجموعة في الكسور، بما فيها ثوابت معنيه . هذه الدلالة موضحة في الجدول ٦/١ .

باستخدام هذه المعاملات، يمكن حساب مقاومة أى عدد من الآنودات المنشأة في مكان معين . في العادة قضيب من الجرافيت ٣ بوصة × ٦ قدم هو العادي لفرض أقصى حدود للتيار بمعدل ٣ أمبير لكل قضيب، في تراب الكوك العادي (إرجع إلى مناقشة القضيب الغير مغطى سيناقش فيما بعد) . بالنسبة لنقطة صرف مغطاه، فأن هذا يحدد أقل عدد من القضبان يتم استخدامه أى، إذا كان صرف التيار ليكون ١٥ أمبير، عندئذ يكون المطلوب ما لا يقل عن خمسة قضبان، يصرف النظر على قيم المقاومة. يتم حساب مقاومة هذا العدد الأقل من الآنودات، وكذلك للأعداد الأكبر المتعددة . باستخدام تكاليف مختلف المواد المستخدمة، وتكاليف الحفر لعمل الأخرام ومكونات الإنشاء الأخرى، فإنه عندئذ يمكن توقيع منحنى يوضح إجمالى تكاليف الإنشاء للطبقة الأرضية في هذا المكان المعين بدلالة عدد الآنودات المستخدمة (المنحنى A في الشكل ٦/٣) .

مع زيادة عدد القضبان المستخدمة فإن مقاومة الطبقة الكلية تنخفض . وهذا يعني أن الفولت المطلوب لجهاز تثبيت التيار (Rectifier) لصرف التيار المطلوب ينخفض . يمكن أن يؤخذ هذا الفولت ليكون .

$$V = I\,(Rn + 2)$$

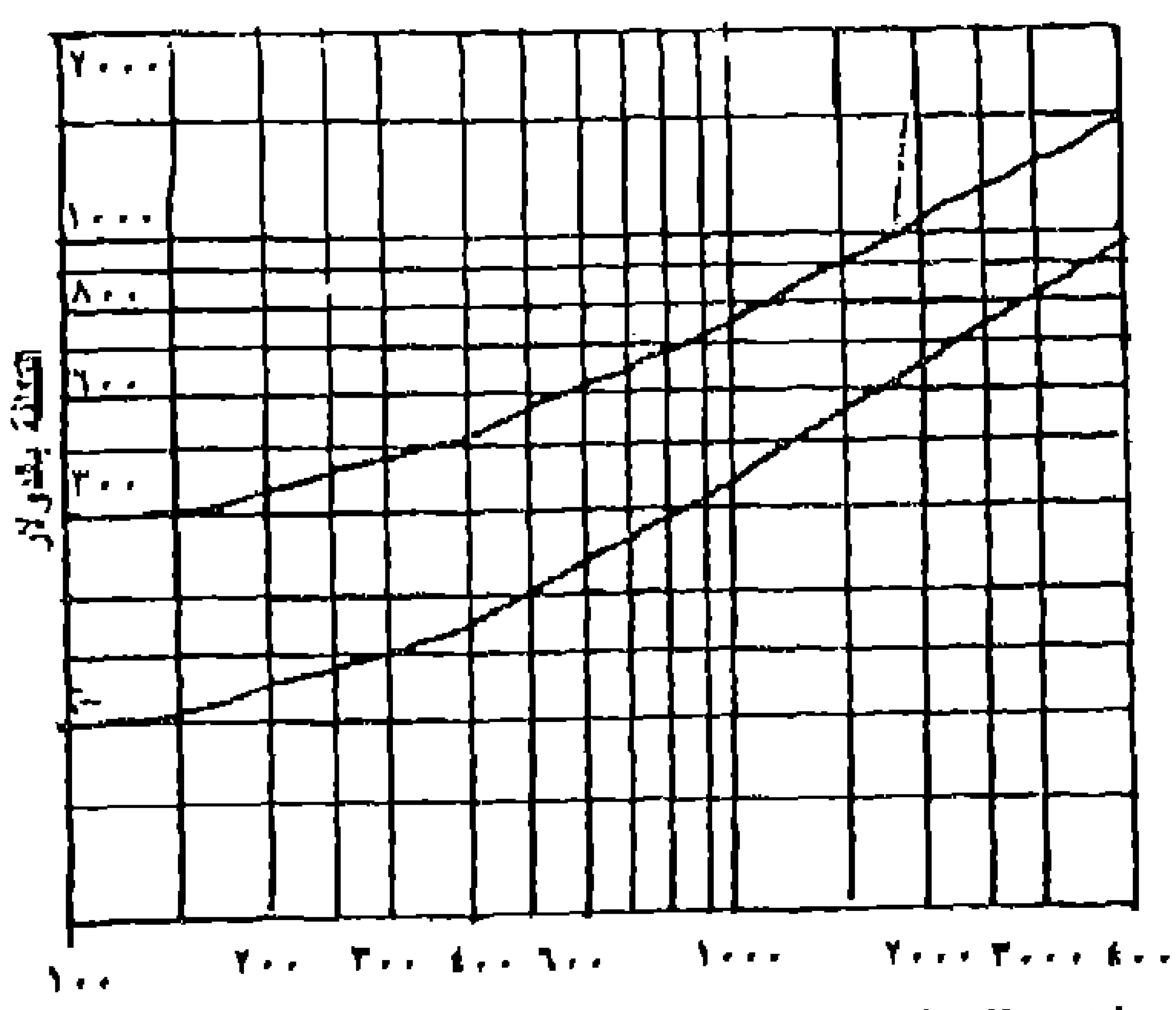
الفولتين المضافين هو بسبب الفرق الجلفنى ما بين آنود الجرافيت في تراب الكوك وماسورة الصلب في التربة . من هذه المعلومات، وبيان ثمن جهاز تثبيت التيار المستخدم، يمكن عمل منحنى موضحا تكاليف الإنشاء لجهاز التيار كدلالة لعدد قضبان الآنودات المستخدمة . وهذا موضح في الشكل (٦/٣) .

جدول (٦/١ معامل التداخل Fn)

n	Fn	n	Fn
2	0.00261	16	0.oo122
3	0.00290	17	0.00120
4	0.00282	18	0.00145
5	0.00268	19	0.00140
6	0.00252	20	0.00140
7	0.00238	21	0.00132
8	0.00224	22	0.00128
9	0.00121	23	0.00124
10	0.00201	24	0.00121
11	0.00192	25	0.00118
12	0.00183	26	0.00115
13	000175	27	0.00112
14	0.00168	28	0.00109
15	0.00161	29	0.00107

هذا المنحنى الأخير أحيانا يمكن استنتاجه بسهولة أكثر باستخدام منحنى متوسط، مثال لهذا المنحنى موضح في الشكل (٦/٢) . الوات من التيار الثابتة (dc Voltage and Current) أي (W = EI) . دلالات الوات هي طبقا لنوع جهاز تثبيت التيار وثمن الشراء وتكاليف الإنشاء الكلية في مكان معين .

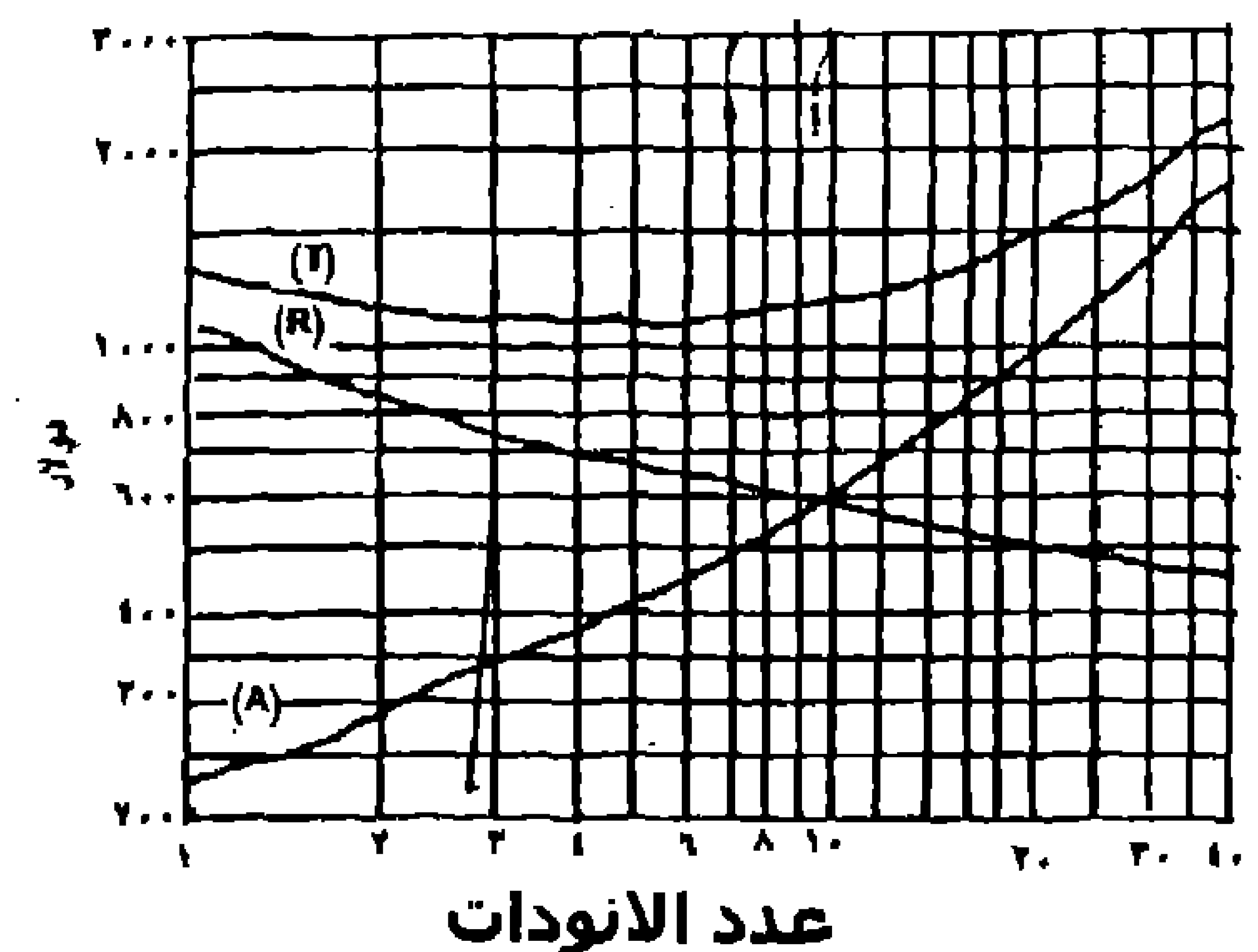
طبيعي أن هذا سوف لا يكون منحنى رقيق كما في المثال، وذلك لعدة أسباب، ولكن هذا المنحنى يمكن توقيعه من بيان الأسعار طبقا لكشوفات المنتج والتكاليف التقديرية للإنشاء .



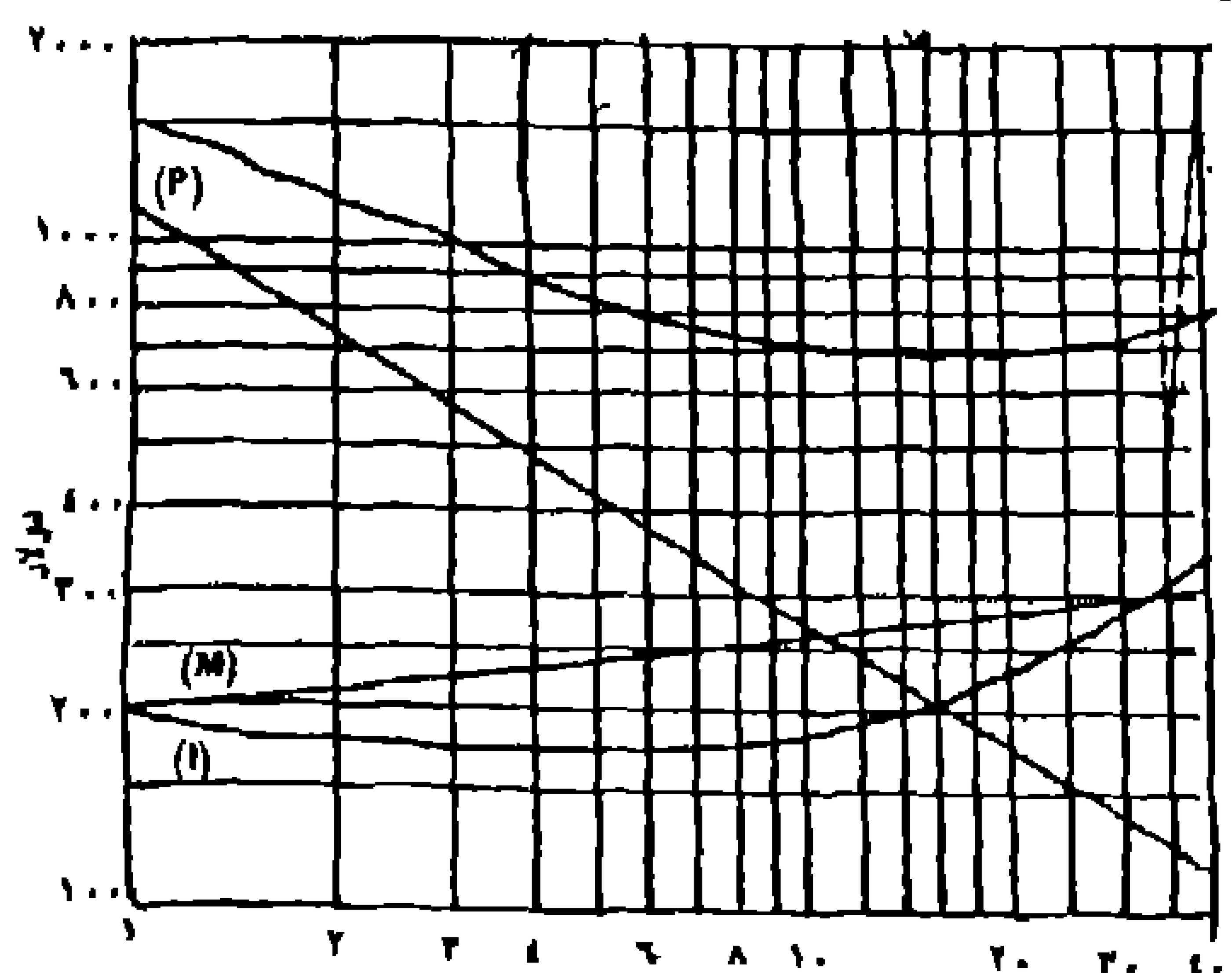
شكل (٦/٢) أسعار معدلات التيار وتكاليف الإنشاء. المنحنى السفلى يبين السعر التقريبي لمعدلات التيار من السيلينيوم المغمورة في الزيت بدلالة التيار الثابت بالوات (الفولت) × الأمبير) المنحنى العلوى يوضح تكاليف الانشاء المقدرة في ظروف فرضية.

عودة إلى المنحنى شكل (٦/٣)، حيث المنحنى T هو مجموع الاثنين الآخرين ويبين التكاليف الإجمالية الكلية للإنشاء التام بدلالة عدد قضبان الآنود اللازم استخدامها. الفوائد السنوية مقابل الاستثمار ستكون متناسبة مباشرة لهذا المنحنى.

النسبة الصحيحة اللازم استخدامها هي رقم يجب الحصول عليه بواسطة الإدارة، ويتوقف على موقف الشركة من الضرائب، تكاليف الاقتراض، الإقراض، وعدد العوامل الأخرى والتى هي بعيده تماما عن مجال الهندسة. في المثال المستخدم هنا، أخذ هذا الرقم ليكون ١٥% . هذا من المحتمل أن يكون منخفض جدا، نظرا لأن القيم الحقيقية المستخدمة عادة بواسطة معظم الشركات تتراوح ما بين ٢٠% إلى ٥٠ % . المنحنى (١) في الشكل (٦/٤) هو منحنى التكاليف السنوية، لمكونه ١٥% للمنحنى (T) في الشكل (٦/٣) .



شكل (٦/٣) إجمالى تكاليف الإنشاء . المنحنى (A) يوضح تكاليف الإنشاء لطبقة الآنود بدلالة عدد القضبان ، المنحنى (R) يوضح تكاليف الإنشاء لمعدل التيار المطلوب لكل عدد من الأقطاب ، المنحنى (T) يوضح إجمالى تكاليف الإنشاء – مجموع المنحنيات (A) ، (R) بدلالة عدد القضبان ! طبقة الآنود



شكل (٦/٤) أقل تكلفة سنوية . المنحنى (P) يوضح تكاليف الطاقة في العام ، المنحنى (I) أرباح الاستثمارات في العام . المنحنى العلوى هو مجموع لهذه الثلاث، وبذا فإنه يوضح التكاليف السنوية بدلالة عدد أقطاب الآنودات المنشأة . الطبقة الأرضية من ١٨ آنود يبدو أنها الأفضل من الناحية الاقتصادية في الظروف الفرضية .

المنحنى M يوضح تكاليف الصيانة السنوية المتوقعة للإنشاء . هذا المنحنى مبنى على خبرة الشركات، ولكن يؤخذ في الاعتبار عوامل البعد وعوامل أخرى. يجب ملاحظة أن هناك اختلاف بسيط بين طبقة الآنود الضخمة والصغيرة، جهاز تعديل التيار هو الذي يستحوذ على معظم تكاليف الصيانة والتفتيش .

المنحنى P يوضح التكاليف السنوية للطاقة لعمل وحدة . في أى حالة حقيقية، نظرا لأن معدلات الطاقة تتغير خطوه بخطوة، فإن هذا المنحنى سوف يبين إنكسارات في الانحناء . في الواقع، نظرا لأنه يوجد عادة فاتورة شهرية، فإن الجزء الأيسر من المنحنى سيكون أفقيا؛ وسيكون هناك اقتصاد في استهلاك الطاقة، وليس في فاتورة الطاقة الشهرية . هذا المنحنى سيتم رسمه دائما لحالة محددة، مع أخذ المعدلات الحقيقية في الحساب، وذلك يراعى سواء كان جهاز تعديل التيار هو الحمل الوحيد على منشأ الخدمة المعنيه . عادة يمكن افتراض كفاءة جهاز تعديل التيار لتكون حوالي ٥٠% ، لذلك فإن استهلاك الطاقة سيكون حوالي ضعف متوسط وات التيار الثابت (Dc Wattage) كما تم حسابه مسبقا .

المنحنى العلوي في الشكل (٦/٤) بدون أى علامات هو مجموع المنحنيات الثلاث الأخرى – وهو الذي من أجله تم عمل كل الآخرين . فهو يوضح إجمالى التكاليف السنوية للمنشأ كدلالة لعدد قضبان الآنود المنشأة، وهو يبين عدد القضبان (Rods) التى تعطى المنشأ الأكثر وفره اقتصادية . في المثال المبين، هذا العدد هو ١٨ ، ولكن يمكن بوضوح ملاحظة أنه لا يوجد اختلاف كبير من حوالي ١٢ إلى ٢٥. هذا صحيح، يجب ملاحظة أنه فقط في حالة كل عدد من الأقطاب يكون متطابقا بطريقة صحيحة مع الجانب الأيمن لجهاز تعديل التيار.

عوامل الاضطراب: (Disturbing Factors)

العملية الحقيقية تكون أكثر صعوبة في بعض الاعتبارات ، وفي اعتبارات أخرى تكون أكثر سهولة عما تم وصفه مسبقا . الشيء الذي يعمل على كونها أكثر سهولة هو الخبرة.

قليل فقط من العملية التي وصفت يتم عمله فعلا . يتم إدخال تعقيدات وصعوبات بعدم تجانس وبحقيقة أن قليل من الدلائل يكون مستمرا لدلالات "منحنى رقيق" كما هو موضح ، ولكن يميل ، لأن يكون خطوط متقطعة .

تم مسبقا ذكر تكاليف الطاقة في هذا المجال، تكاليف جهاز تعديل التيار هي، تكاليف أخرى . بالنسبة لجهاز تعديل التيار الآمن ذو العلاقة التجارية المعروفة، كمثال سنجد أنه سيكون هناك زيادة طفيفة في السعر لزيادة معدلات الفولت (لنفس التيار) حتى ٢٨ فولت . لذلك فإنه توجد قفزة كبيرة من وحدة ٢٨ فولت إلى وحدة ٣٢ فولت، وثانيا زيادة طفيفة فقط في الفولت حتي ٥٦ فولت ، عند حدوث قفزة اخري . السبب في ذلك هو أن تقديرات الفولت (Voltage Ratings) لمجموعة سيلينيوم مفردة هو ٢٨ فولتات، لذلك فإن ذلك يتم استخدامه عند أى تقديرات حتى تلك القيمة . أكثر من ذلك يجب استخدام اثنين بالتبادل وهكذا .

في المثال المعطى، تم اعتبار حجم وفاصل واحد للآنودات، من الواضح أنه يوجد كثيرا من التجميعات الممكنة .

لبحث ذلك بإتقان سيتطلب تكرار العملية عدة مرات، واختيار الأفضل من بين التجمعات الافضل التي تم محولتها . وقيل كل شيء ، ذلك هو التغير الكبير في مقاومة التربة . المعادلات المعطاه توضح كيف يتم التصميم بدرجة مقبولة من الدقة – عند تغير التربة مع العمق . ولكن لا توجد طرق معطاه للتعامل مع التغير الأفقي، والذي يعطي بالتأكيد عادى بما فيه الكفاية .

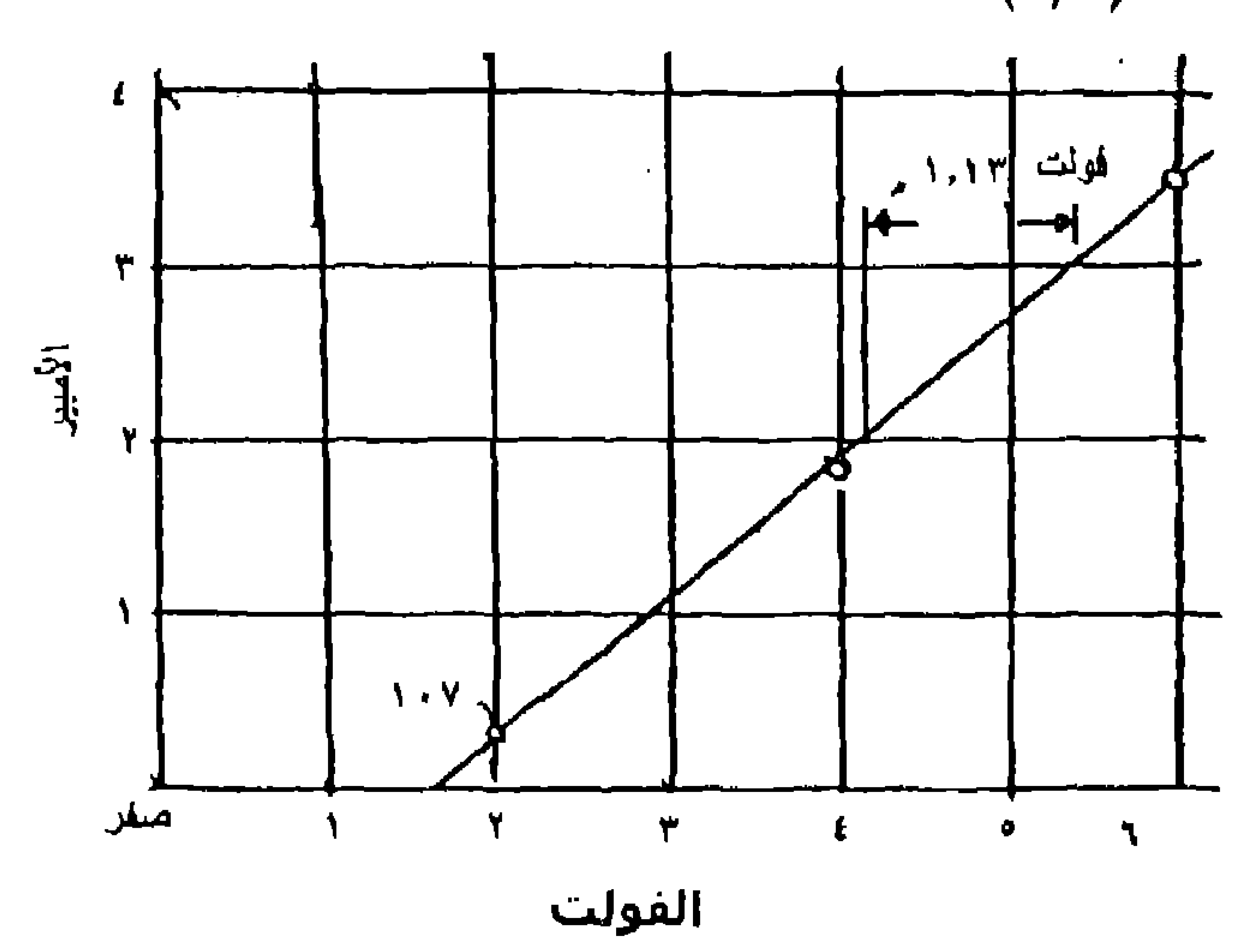
عندما يكون معلوما أن المقاومة هي كذلك تتغير مع الوقت، بسبب تغير الرطوبة، سنرى أن حساب مقاومة الطبقة الأرضية ليس تقنية عالية الدقة . يتوقع تغيرات كبيرة بعيدة عن القيم التى تم حسابها، ويجب أن تراعى. هذا بالإضافة إلى أنه يفضل توفير طاقة أكبر، وخاصة عند حماية خط جديد، وذلك لإمكان التعامل مع التلف المستقبلي لطبقة الحماية الخارجية .

التعديل في الموقع: (Field Modification)

من بين الطرق الجيدة لإتقان هذا التصميم، هو التعديل الحقلى، بينما يكون الإنشاء مستمرا . يتم عمل الوصلة لخط المواسير نفسه، ووضع السلك الموصل (Lead) للآنود على طول خط مجال الآنود المقترح . عندئذ مع إنشاء الآنودات، يتم توصيلهم بالسلك الموصل – يمكن عمل وصله مؤقته – يتم قياس دائرة المقاومة ما بين الماسورة والآنودات (Loop Resistance) ، يتم توصيل الآنودات في نفس الوقت. الطريقة المناسبة لعمل ذلك هو باستخدام خلية أو خليتين وكل ثلاث خلايا بالتتالي لبطارية شحن، مع توقيع قيم التيارات المقاسة بواسطة الأميتر، وتحديد المقاومة وذلك بتوقيع الخط الذي تم الحصول عليه إلى الخلف إلى التيار صفر، ميل الخط يعطى المقاومة، والفولت الموضح بالتيار صفر هي الجهد الجلفني ما بين الجرافيت والصلب.

مع تعيين هذه القيم لأعداد متتالية من الآنودات المتصلة، فإن توقيع المنحنى سيبين الاتجاه، والمنحنيات (٦/٢) ، (٦/٣) ، (٦/٤) يمكن إعادة توقيعهم في الموقع . يمكن بذلك عمل تغيرات في عدد الآنودات المنشأه وذلك عند توفر المعدات والأفراد .

تقنية أخرى للتعديل الميداني، وإن كان أقل دقة إلى حد ما عن الطريقة التى سبق شرحها، ولكن عادة تؤدى إلى تصميم والذي ليس بعيدا عن الحقيقي على الأقل، وهو كالآتى: شكل (٦/٥) .

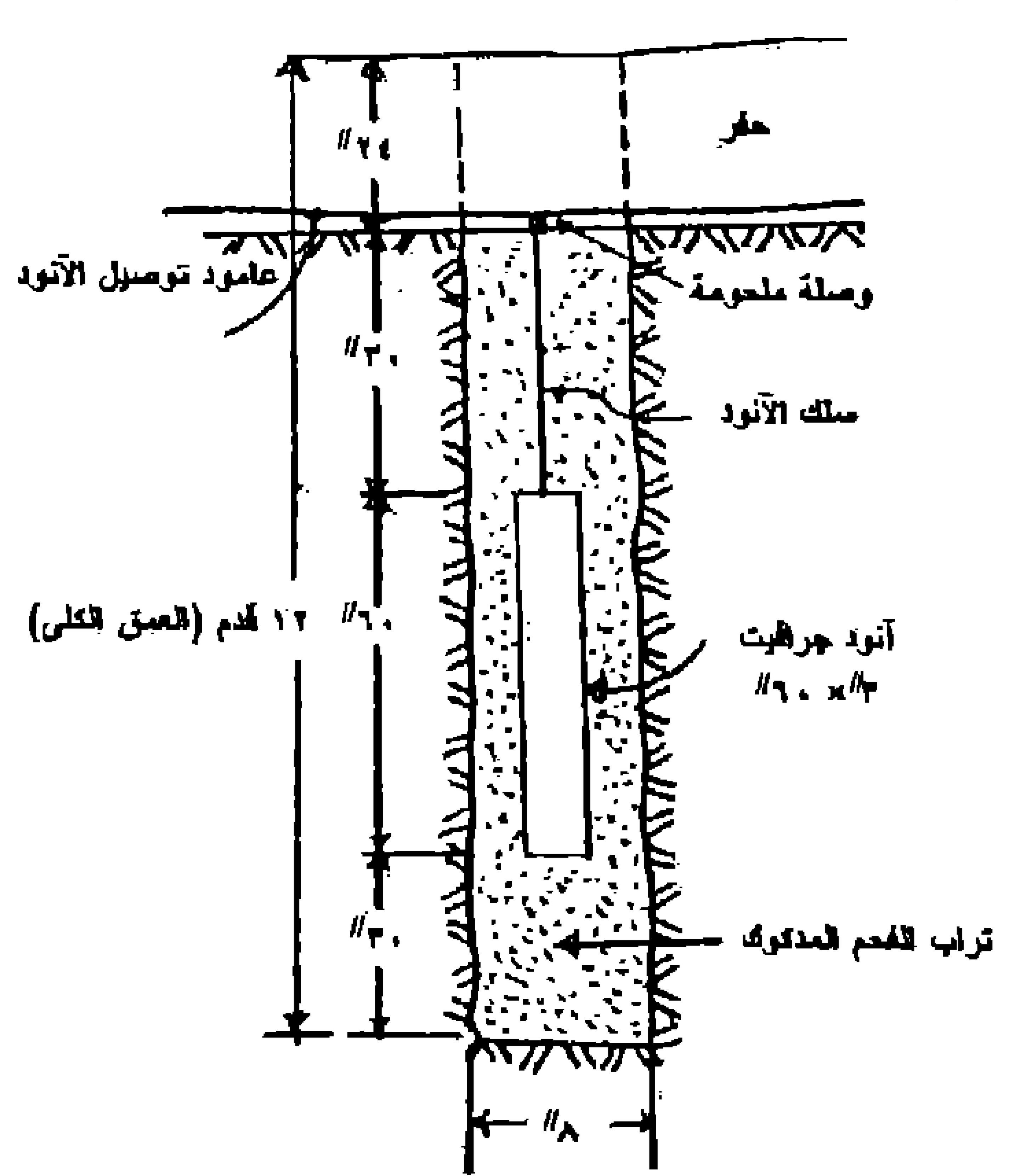


شكل (٦/٥) مقاومة الآنود باختبار البطارية . واحد، اثنين ، ثلاث خلايا لبطارية شحن تامة الشحن يتم توصيلهم تباعا ما بين وصلة الماسورة والآنود أو مجموعة الآنودات . ميل الخط يعطى المقاومة، في هذه الحالة فهي ١,١٣ فولت / الأمبير أو ١,١٣ أوم . الفولت الموضح للتيار صفر ١,٧ فولت ، هو الجهد الجلفني بين الآنود وخط المواسير.

يتم عمل توصيل المواسير، ووضع الطبقة الأرضية، كما تم التصميم، ثم يتم قياس دائرة المقاومة بطريقة البطارية التى تم وصفها، يتم شراء جهاز تعديل التيار بالجهد اللازم لتوفير التيار المطلوب خلال الطبقة الأرضية مع بنائها. هذا طبيعي يتطلب التأخير لبعض الأسابيع، نظرا لأن جهاز تعديل التيار لا يتم الأمر باستخدامه إلا حين إقامة الطبقة الأرضية، ولكن ، فإن لها ميزة جيدة في أنه سيتم توفير نظام للعمل، حتى ولو حادت المقاومة يوضع عن القيمة المتوقعة .

طرق الإنشاء : (Installation Methods)

الشكل (٦/٦) يوضح مقطع الآنود المنشأ . النقط الرئيسية التي يجب ملاحظتها في الإنشاء هي كالآتي :



شكل (٦/٦) نموذج لإنشاء آنود الجرافيت . العناصر الهام هي دمك تراب الكوك، حماية وصلة الآنود ، أهمية الحماية التوصيل للآنود

١– الدمك الجيد لتراب الكوك، الملئ المفكك قد يعطى مقاومة عالية مخيبة للآمال وكذلك اختصار عمر الآنود .

٢- الوصلات المدفونة يجب حمايتها مع الحرص الزائد ضد وصول الرطوبة، ذلك، لأي صرف للتيار إلى الأرض من الكابل سيعمل على تدميره في خلال أيام أو ساعات .

٣- يجب الحرص نحو حماية وصلة الكابل بالآنود، هي النقطة الضعيفة في كل آنودات الجرافيت، حتى في حالة عدم تلف الوصلة أثناء التداول السئ، أدنى تشقق يسمح بدخول الرطوبة، بما يسبب تلف لا يمكن تجنبه .

٤- الدفن يجب أن يكون عند العمق الكافي (٨ إلى ٢٤ بوصة) للحماية ضد احتمالات التلف مصادفة . يجب معرفة أن سلك توصيل الآنود صغير جدا في طبقة الحماية .

يجب إعطاء الاهتمام دائما نحو احتمال وضع سلك توصيل الآنود فوق الأرض . عادة يمكن مده على أعمدة مقاومة، على دعامات سور، أو على دعامات قصيرة مقامة لهذا الغرض. الغرض منخفض جدا بحيث أن المطلوب هو قليل من العزل، كما أن مخاطر الصدمات تكون معدومة . يمكن استخدام كابل عادى وغير مغطى، وذلك في حالة إمكان تحميله فوق سطح الأرض، مع الحماية المحققة . ولكن كابل النحاس الضخم هو وصلة مقبولة، والمنشآت المدفونة مفضلة لتجنب السرقة .

الأنودات من الحديد عالي السيليكون : (High Silicon Iron Anodes)

كما سبق ذكره فإن كل عامود تراب الكوك يعمل كآنود، القضيب في الوسط هو مجرد وسيلة لتوفير التوصيل الكهربي للردم (تراب الكوك -Coke - Breeze) . في حالة حقيقة ذلك عندئذ فإنه يمكن استخدام قطعة بسيطة من قضيب الحديد أو من ماسورة بدلا من الجرافيت المكلف . حقيقي أن التيار يترك الجرافيت بطرق مختلفة . كثيرا منه يسرى بالاتصال المباشر نحو مادة الملئ من تراب الكوك، ولا يحدث أى تلف كهروكيميائى للجرافيت، ولكن جزء قليل يسرى نحو الرطوبة التى تخترق الجزء المركزي (القلب – Core) . هذا الجزء من التيار، الذي يسرى إليكتروليتيا بدلا من الاتصال المباشر يحدث تآكل للجرافيت ولكن ليس بدرجة غير محتملة .

يجب ملاحظة أن، الصلب تحت هذه الظروف يتم تآكله بشدة، وكذلك أن الجرافيت بدون مواد الملئ من تراب الكوك سوف يتآكل بشدة.

من شواهد الأخير هو أنه عند استخدام الجرافيت في الظروف حيث يكون من الصعوبة عمل طبقة الملئ المدمكه أو مستحيلة ، فإنه تحدث مشاكل متوقعة . فمثلا ، في حالة إمتلاء الفتحة بالماء وعدم إمكان الفتح للتجفيف، فإنه يستحيل الدمك الصحيح، وسوف يتآكل الجرافيت، وسوف يصبح عمر المنشأ قصيرا. في حالة حفر الفتحة بطريقة رديئة فإنه سوف يكون هناك كثيرا من مواد التربة تالية للآنود، وسوف يتآكل كل الجرافيت عند هذه النقط . وأخيرا في حالة وجود الغرود الرملية – فإنه تحدث أقصى الحالات التى ذكرت، وسف يكون من المستحيل تماما إقامة حشو أو ردم من تراب الكوك المدموك بدون اللجوء إلى عمل قيسون مكلف أو أى إجراءات مشابهة، كما أن الجرافيت العارى والغير مغطى سيحدث له تآكل حاد عدا في حالة أن يكون التيار في حدود ربع القيمة العادية .

الإجابة الوحيدة لهذه المشاكل هي باستخدام آنودات من حديد الزهر عالى السيليكون . وهذه غالبا تكون خاملة في معظم الحالات، ويحدث لها فقد في الوزن قليل– أقل كثيرا من ٢٠ رطل للأمبير في العام بالنسبة للصلب . عند استخدامات الطبقة الأرضية فإن الحجم العادى غالبا هو ٢ بوصة في ٦٠ بوصة . عند الإنشاء بنفس الطريقة مثل آنود الجرافيت الموضح في الشكل (٦/٦) فإنه يعمل تماما مثل الجرافيت، وكذلك يستحيل وجود أى خلاف بأى اختبار . إذا كان المنشأ في موقف صعب، حيث لم يتم الدمك المناسب لأى سبب من الأسباب، فإن الآنود من الحديد عالي السيليكون سوف لا يحدث التآكل الحاد والذي هو من خواص الجرافيت، في تلك المساحات التي تكون ملتصقة بالتربة الداخلة في الحفر . وقد يكون هناك دخول للمياه إلى درجة أن عملية الدمك تكون ضعيفة، ثانيا فإن الآنود من الحديد العالي السيليكون سوف لا يظهر أى تآكل حاد . أخيرا في حالة استحالة الحفر والدمك كما في حالة الغرود الرملية، فإن هذه الآنودات يمكن استخدامها وهي غير مغطاه تماما . طبيعي أن المقاومة ستكون أعلا كثيرا لكل آنود (بسبب الأبعاد الأصغر) لذلك فإنه سيكون مطلوبا آنودات أكثر عما هو الحال عند استحالة الردم (Back Filling) .

الآنودات من الصلب : (Steel Anodes)

عندما تكون مقاومة التربة عالية، فإن عدد الآنودات المطلوبة للحصول اقتصاديا على مقاومة منخفضة قد يستحيل أن يكون كبيراً . في هذه الحالة، يتم اللجوء نحو احتمال استخدام ماسورة حديد فردة أو أى خرده مشابهة كآنود وبهذه الطريقة فإن المساحة الضخمة المطلوبة يمكن الحصول عليها، كما أن المقاومة العالية ستعمل على انخفاض كثافة التيار لدرجة أنه يمكن تحقيق عمر اقتصادي مفيد . هذه الطبقة الأرضية في تربة عالية المقاومة يمكن أن تقل كثيراً في التكلفة مقارنة باستخدام الآنودات العمودية التي سبق وصفها . خط التقسيم يقع ما بين ٥٠٠٠ أوم – سم و ٢٠٠٠٠ أوم–سم، يمكن التحديد فقط بعدة حسابات لكل حالة معينة .

مثل هذا الآنود الأفقي يقام عادة بوضع مقطع قصير من خط مواسير غير مغطى أشكال (٧، ٨، ٦) لا يتم عمل الوصلات بطريقة اللحام المتقنة، في الحقيقة، التوصيل الكهربي الضروري يتم عمله عادة بلحام شريطين أو أكثر من المعدن من مقطع إلى آخر. هذه الوصلات يتم عندئذ تغطيتها ، لتقليل العدوانية على هذه النقط. يتم عمل عديد من التوصيلات مع الآنود .وهذه يمكن أن تأخذ شكل مقاطع لماسورة مغطاة ملحومة مع الآنود وموضوع فوق الأرض . الوسادة حول كل يتم تغطيتها، والبعض يرى أنه يمكن تغطية شريط أسفل قمة كل الآنود . هذا سوف يعمل على رفع المقاومة الكلية، ولكن فإنه يساعد كذلك في منع التقسيم المبكر والفقد لجزء من الآنود.

مقاومة الآنود من هذا النوع يعبر عنها بالآتي:

$$R = \frac{P}{192\,L}\left\{ In\frac{4L}{D} + In\frac{L}{S} \;-2 + \frac{2S}{L} \right\}$$

حيث:

R = المقاومة الكلية بالأوم .

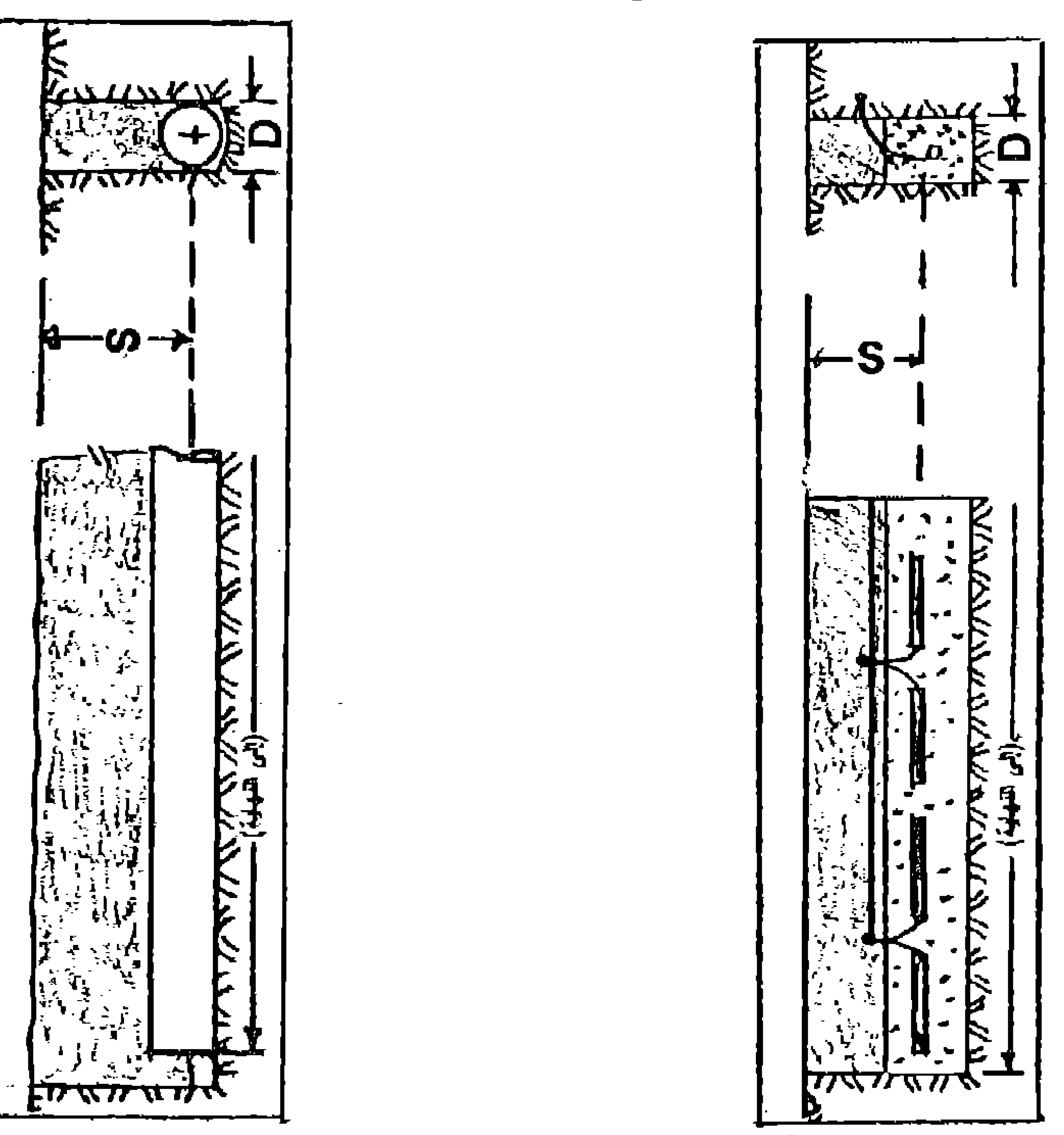
P = مقاومة التربة أوم–سم .

L = طول الآنود بالقدم .

D = قطر الآنود بالقدم .

S = الطول للمركز (الوسط) بالقدم .

In = تعنى اللوغاريتم الطبيعي .



شكل (٦/٧) الآنود الأفقي: تحسب المقاومة على أساس الملئ الكلى لتراب الكوك والذي هي الآنود الحقيقي . قضبان الجرافيت أو الحديد عالى لسيليكون . تعمل فقط لتوفير التوصيل الكهربي الجيد

شكل (٦/٨) آنود أفقي من ماسورة صلب خردة .

مقاومة مثل هذا الآنود يمكن حفظها عادة وذلك بخلط الملح والجبس مع مادة الملئ حول الماسورة، ولكن التأثير الكلى لإضافة هذه الأملاح يكون من الصعب معرفته في المستقبل .

آنودات الجرافيت الأفقية : (Horizontal Graphite Anodes)

أحيانا يكون من الضروري إنشاء آنود في مكان حيث تكون الصخور على عمق قليل، أو حيث مقاومة التربة تزداد بوضوح مع زيادة العمق . المكان من النوع

الأخير يتم تجنبه كلما أمكن ذلك، ولكن أحيانا ما يمكن التغلب على ذلك باستخدام منشأ أفقي عمليا، ثم يتم وضع عامود أفقي من تراب الكوك، عادة في شكل المقطع المربع. يتم وضع الآنودات أفقيا وسط هذا العامود، بفواصل بينها حتى ربما ضعف طول الآنود. في حالة الدمك الجيد لتراب الكوك، فإن العامود الكلى سيعمل كآنود. المعادلة المعطاه لآنود الصلب الأفقي تستخدم بالنسبة للمقاومة، حيث (D) تمثل العرض بدلا من القطر .

الآنودات العميقة: (Deep Anodes)

أحيانا يكون توزيع مقاومة التربة عكس ما تم وصفه حالا، فقد توجد تربة ذات مقاومة عالية عند السطح ومقاومة أقل على عمق أكبر. في مثل هذه الحالات، ينصح بإقامة آنود عميق وعمودى في فتحه ثم حفره مثل البئر تماما . في الواقع، استخدمت آبار لهذا الغرض. هذا الفتحة (البئر) يمكن أن تكون رطبه، أى مملوءا بالماء أو قد يكون جافا . بالنسبة للثقوب (الآبار) حتى عمق ١٠٠ قدم، يمكن دمك تراب الكوك في البئر الجاف، عند أعماق أكبر وفي كل الآبار الرطبة، يكون من الضروري صب مادة الملئ بداخل البئر . فقد وجد أن تراب الكوك سيرسب مدمكا في الحفر (البئر) حيث المياه آسنه (Standing)، بحيث أن النتائج يمكن أن تقارن بتلك الناتجة عن عملية الدمك.

الآنودات المستخدمة في تلك الإنشاءات هي عادة من الحديد عالي السيليكون، ذلك بسبب سهولة الإنشاء وكذلك بسبب المناعة العالية ضد التآكل عندما يكون الملىء أقل من المتقن . يتم إنشاء عدد من الآنودات في نفس الحفره (البئر) – طبقا لسمك الطبقة ذات المقاومة المنخفضة من حيث الفواصل بين القضبان تكون عادة مساوية لطول قضيب واحد .

الفصل السابع



الآنودات الجلفنية على الخطوط المغطاه

Galvanic Anodes On Coated Lines

الآنودات الجلفنيه على الخطوط المغطاه

Galvanic Anodes On Coated Lines

متى وأين يستخدم المغنسيوم :

الميزة الرئيسية لآنودات المغنسيوم، مقارنة باستخدام أجهزة تعديل التيار (Rectifiers) هو أن التيار يمكن توزيعه بسرعة، نظرا لأنه يأتي في شكل حزم صغيرة.

يوجد دائما كمية معينة من الحماية الزائدة لخط المواسير قرب نقطة الصرف، وهذا تيار مفقود. لذلك إذا أمكن التحكم في توزيع التيار بحيث ينال كل جزء من الخط ما يحتاج إليه فقط، فإنه يمكن بذلك عدم حدوث هذا الفقد .

وهذا يعنى أن آنودات المغنسيوم المستخدمة بطريقة جيدة يمكن أن تحمى خط بتيار أقل مقارنة بنظام أجهزة تعديل التيار، ولكن التيار من هذه الأجهزة تكلفته أقل لكل أمبير مقارنة بالتيار من المغنسيوم، لذلك فإنه ليس حقيقي في أن الخط يمكن حمايته بتكلفة أقل باستخدام الآنودات .

كما أن آنودات المغنسيوم ليست مصادر اقتصادية للتيار في التربة ذات المقاومة العالية، حيث استخدامها محدود فقط في التربة ذات مقاومة أقل من ٣٠٠٠ أوم–سم، باستثناء حالات خاصة حيث يكون المطلوب كميات صغيرة فقط من التيار. من المهم ملاحظة أنه عند التفكير في حماية خط مغطى، فإنه يكون من الضروري وجود مقاطع صغيرة من التربة ذات المقاومة المنخفضة على مراحل، وأنه كلما كانت التغطية جيدة، كلما أمكن زيادة هذه المراحل، حيث يصبح استخدام آنود المغنسيوم اقتصادي. لذا فإن مجال الاستخدام لآنودات المغنسيوم هو لحماية الخطوط العارية والغير مغطاه، للمنشآت المعزولة، كحماية ثانوية (سيتم مناقشتها فيما بعد) ، وفي حماية بعض من الخطوط المغطاه، شريطه أن تكون ظروف التربة مناسبة لاستخدامهم. هذا الاستخدام الأخير سيتم مناقشته هنا، والآخرين في الفصل التالي .

متى وأين يستخدم الزنك :

الجهد الطبيعي بين الزنك والصلب أقل بكثير من ذلك بين المغنسيوم والصلب. وبالتالي، فإن أشياء أخرى تكون متساوية، خرج التيار لآنود الزنك سيكون أقل من ذلك لآنود المغنسيوم بنفس الحجم . في التربة حيث المقاومة المنخفضة يمكن أن يكون ذلك ليس عيبا، على العكس فإنه يمكن إقامة آنودات لفترة حياتية أطول أكثر مما هو ممكن بخلاف ذلك .

عند خرج التيار المنخفض، كفاءة الزنك لا تنخفض مثل ذلك للمغنسيوم عند الخرج المنخفض للتيار، كفاءة الزنك لا تنخفض مثل ذلك المغنسيوم . لذلك ، فإنه من الممكن في كثر من الحالات إقامة آنودات الزنك بعمر افتراضي ٢٠ ، ٣٠ أو حتى ٤٠سنة، ولكن المغنسيوم نادرا ما يكون عمليا أكثر من ١٠ سنوات.

الربط لرأسمال في مثل هذا البرنامج طويل المدى ليس دائما الشيء العملي الذي يتم عمله، ولكن في حالات حيث يكون الإنشاء والاقتراب يشكل صعوبة كما في نظم توزيع الغاز في المناطق المزدحمة الشعبية – فإن ذلك عادة هو الحل المثالي .

في بعض الحالات يكون الجهد الحافز (Driving Potential) المنخفض للزنك بالنسبة للصلب يمكن أن يكون له فائدة . مجموعة جيدة من آنودات الزنك سوف ترفع منشأ الصلب إلى حوالي ١,١ فولت بالنسبة لقطب كبريتات النحاس، ولكن لا يمكن رفعه أكثر من ذلك، نظرا لأن ذلك هو حوالي جهد الزنك نفسه. إذا حدث وأن حدث تلف للغطاء في جزء ما أو أن حدث تغير في مقاومة المجال، كما في حالة مياه المد والجزر ، فإن خرج التيار لآنودات الزنك سوف يتغير خلال مجال كبير، مع حيود قليل جدا في جهد المنشأ المحمى. لذلك فإنها يمكن أن تعمل أساسا كنظام الجهد الثابت، وتعمل ذلك عند المستوى المناسب للصلب (المغنسيوم يمكن أن يعمل نفس الشيء، ولكن عند جهد أكثر ارتفاعا ليكون ١,٦ فولت، والذي قد يتطلب أربعة أضعاف التيار).

التصميم للنظام العام: (General System Design)

الحقيقة التي يجب مواجهتها هي أنه من المستحيل تصميم نظام اقتصادي ومؤثر لآنود المغنسيوم للحماية الكاملة لخط مغطى على الورق . إذا كانت متطلبات التيار للخط متجانسه خلال طوله وإذا كانت ظروف التربة كذلك متجانسة، عندئذ فإن مثل هذا التصميم سيكون ممكنا، وليس من الناحية العملية لا يوجد أى من هاتين الحالتين . الميزة الواضحة للمغنسيوم في هذا الاستخدام هي المرونة التي تمكن من توزيع التيار حيثما يكون مطلوبا ، وفقط بأخذ الميزة الكلية لهذه الخاصية فإن استخدامه يمكن أن يكون اقتصادي. قد نرى أن المباحث الحقلية يمكن أن توفر البيانات اللازمة لتصميم نظام له توزيع جيد، مثل هذه المباحث يجب أن تحدد متطلبات التيار لمختلف مقاطع الخط، ومقاومة التربة المصاحبة لهم . المباحث بالتفاصيل الكافية الذي يمكن من عمل التصميم سيكون مشروع مكلف؛ ولكن التقنية المقبولة هي باستخدام المنشأ المنتهي جزئيا كمباحث مستمرة، والحصول على البيانات المطلوبة، أو بمعنى آخر، تكييف النظام ليتناسب في الموقع .

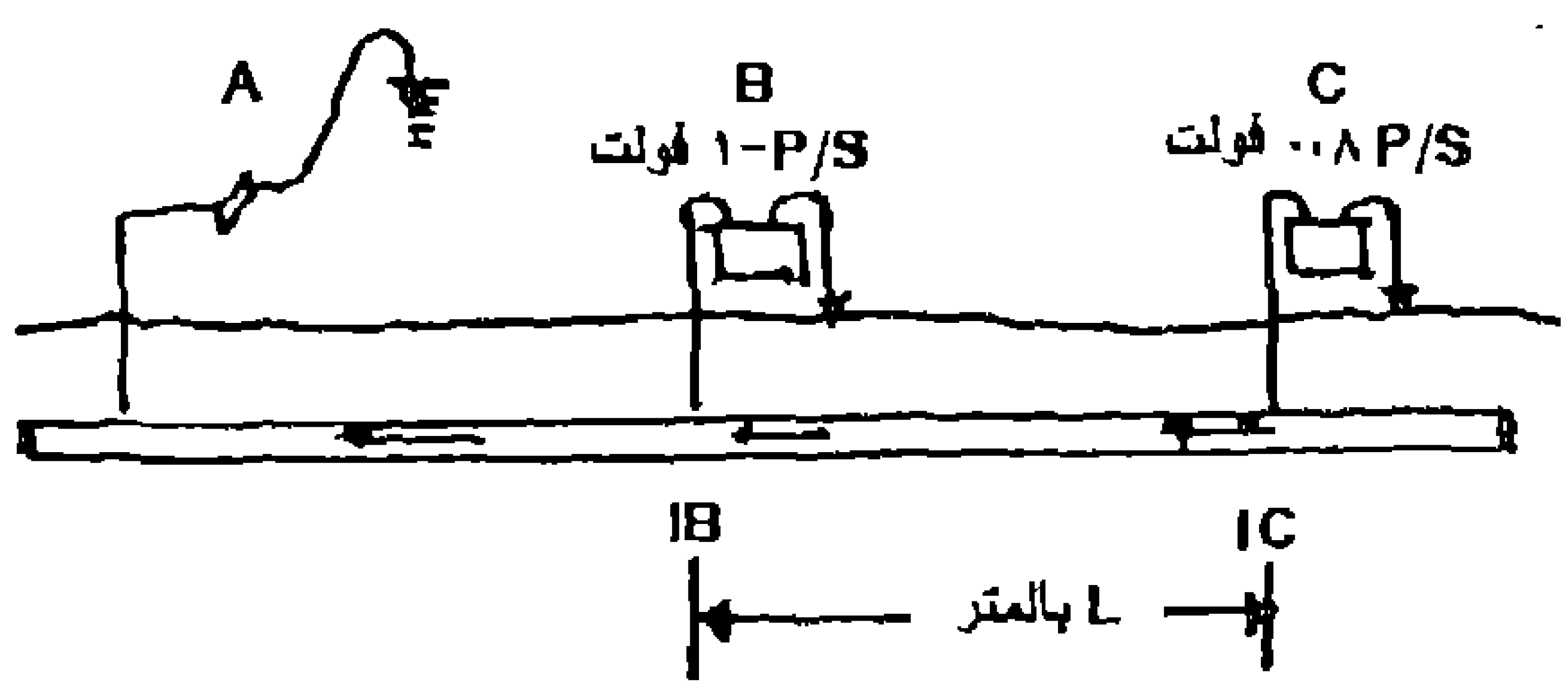
بعض من التقدير الأولي يكون ضروري . يمكن فرض أن حوالي ٢ ملي أمبير للقدم المربع للمكافئ من المعدن الغير مغطى ستكون مطلوبة لتحقيق الحماية الكاملة، كما هو موضح في القاعدة التصميمية ٠,٨٥ فولت بالنسبة لقطب كبريتات النحاس . السؤال المطلوب إقراره هي المساحة الغير مغطاة المؤثرة في طبقة التغطية. هذه تختلف ما بين حوالي ٠,٥% في حالة التغطية الجيدة جدا إلى حتى ٢٠% في حالة التغطية الضعيفة، وفي حالات استثنائية قد تصل إلى ٥٠% ولكنها نادرة . الطريقة الوحيدة التي يمكن بها عمل التقدير بالاستفادة بالخبرة، هي بمقارنة باختبارات تمت أو نظم منشأة بتغطية معروفة أنها مشابهة أو بالاختبارات الحقلية .

العمل الميداني يشبه ذلك الذي تم وصفه في الفصل الرابع، ولكن الحسابات يمكن تبسيطها إلى حد ما.

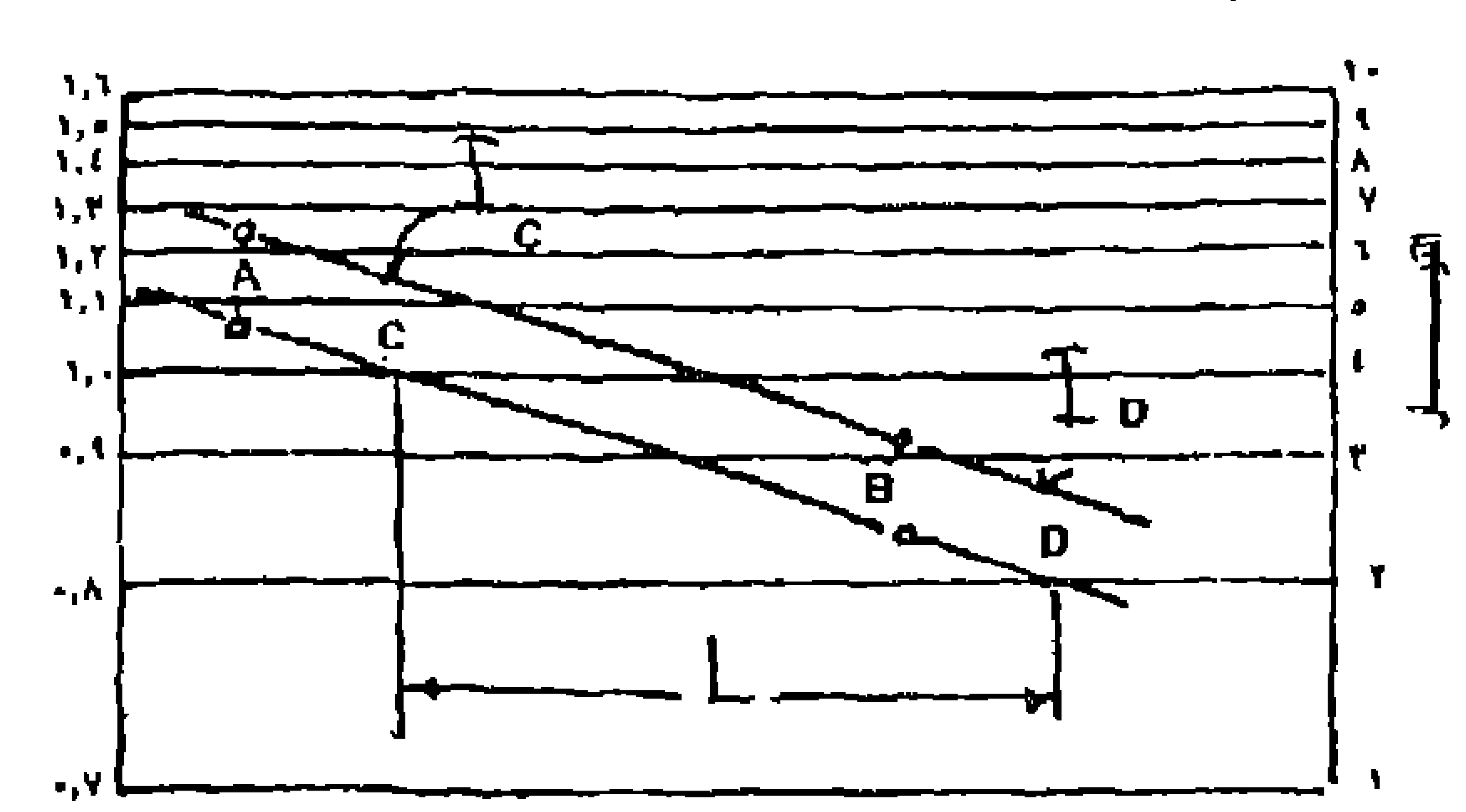
أحد الطرق الموضحة في الشكل (٧/١) هي حيث المباحث (Survey) على طول الخط بعد دورة الاستقطاب بحوالي ٣ – ٤ ساعات، ثم تعيين مكان النقطتين

حيث الجهد ما بين الماسورة – إلى – التربة هو I فولت، ٠,٨٥ فولت . مقطع الخط الواقع ما بين هاتين النقطتين سيكون عندئذ عند متوسط جهد حوالي ٠,٩ فولت والذي هو تقريبا متوسط الخط المحمى بتوزيع آنودات المغنسيوم. في حالة قياس تيار الخط عند كل من هاتين النقطتين، باستخدام الطريقة الموضحة في الفصل ٢ فإن الفرق بين تيارين الخط تلك سيكون هو أجمالي كمية التيار الملتقط على الخط في المقطع . هذه الكمية مقسومة على طول المقطع، سوف تعطى متطلبات التيار للخط بالأمبير لكل ميل. طبيعي هذا الرقم يمكن أن يستخدم فقط لكل الخط في حالة أن المقطع الذي تم اختياره هو التمثيل الحقيقي ؛ يجب الحكم عند هذه النقطة .إذا كان من غير الممكن أو المناسب وجود نقط التي لها القيم الصحيحة المذكورة، عندئذ ممكن أخذ القراءات التى تقرب هذه القيم، عندئذ يمكن ضبط كلا من الجهد وتيار الخط لإيجاد الكمية المطلوبة، وهذا موضح في الشكل (٧/٢)، حيث تم أخذ القراءات عند النقط (A) ، (B) مع فرض جهد استاتيكي ٠,٦ فولت والترقيق الطولي، فإنه يتعين أن النقط (C) ، (D) لها القيم واحد، ٠,٨ فولت . نظرا لأن تيار الخط يتغير طبقا لنفس القوانين مثل الجهد، فإنه من الممكن تعيين قيم التيار عند النقطتين الأخيرتين وبذلك الوصول إلى الكمية المطلوبة .

ليس من المتوقع أن هذا التقدير الذي تم عمله سيكون عالي الدقة، إلا أنه يعتبر مجرد بداية .



شكل (٧/١) تعيين متطلبات التيار . يتم صرف التيار من الخط عند (A) بواسطة ماكينة لحام أو أى مصدر للتيار الثابت . التغطية (B) ، (C) لها جهد الماسورة / التربة/ فولت، ٠,٨ فولت على التوالي يتم تحديد مكانهم، متوسط الجهد P/S بينهم هو ٠,٩ فولت . متطلبات التيار للوصول الي (L) ميل للخط إلى ٠,٩ فولت يكون عندئذ IB -IC ومتوسط متطلبات التيار للخط يكون . $\frac{L_B - L_C}{L}$ أمبير للميل .



شكل (٧/٢) تحديد متطلبات التيار . قياس جهد الماسورة التربة وتيار الخط يتم أخذهم عند (A) ، (B) ، يفترض عندئذ أن الجهد الاستاتيكي للخط كان أصلاً ٠,٦ فولت . عل هذا الأساسى ، جهد الماسورة / التربة ومنحنيات التيار يتم رسمهم كخطوط مستقيمة على ورق شبه لوغاريتمي ، والنقط التي جهد الماسورة التربة هو ١,٠ ، ٠,٨ يتم تعيينها عند (C) ، (D) . الإختلاف بين قيم التيار لهاتين النقطتين عندئذ يعطي متطلبات التيار للخط . للمسافة L ، كما في الشكل السابق .

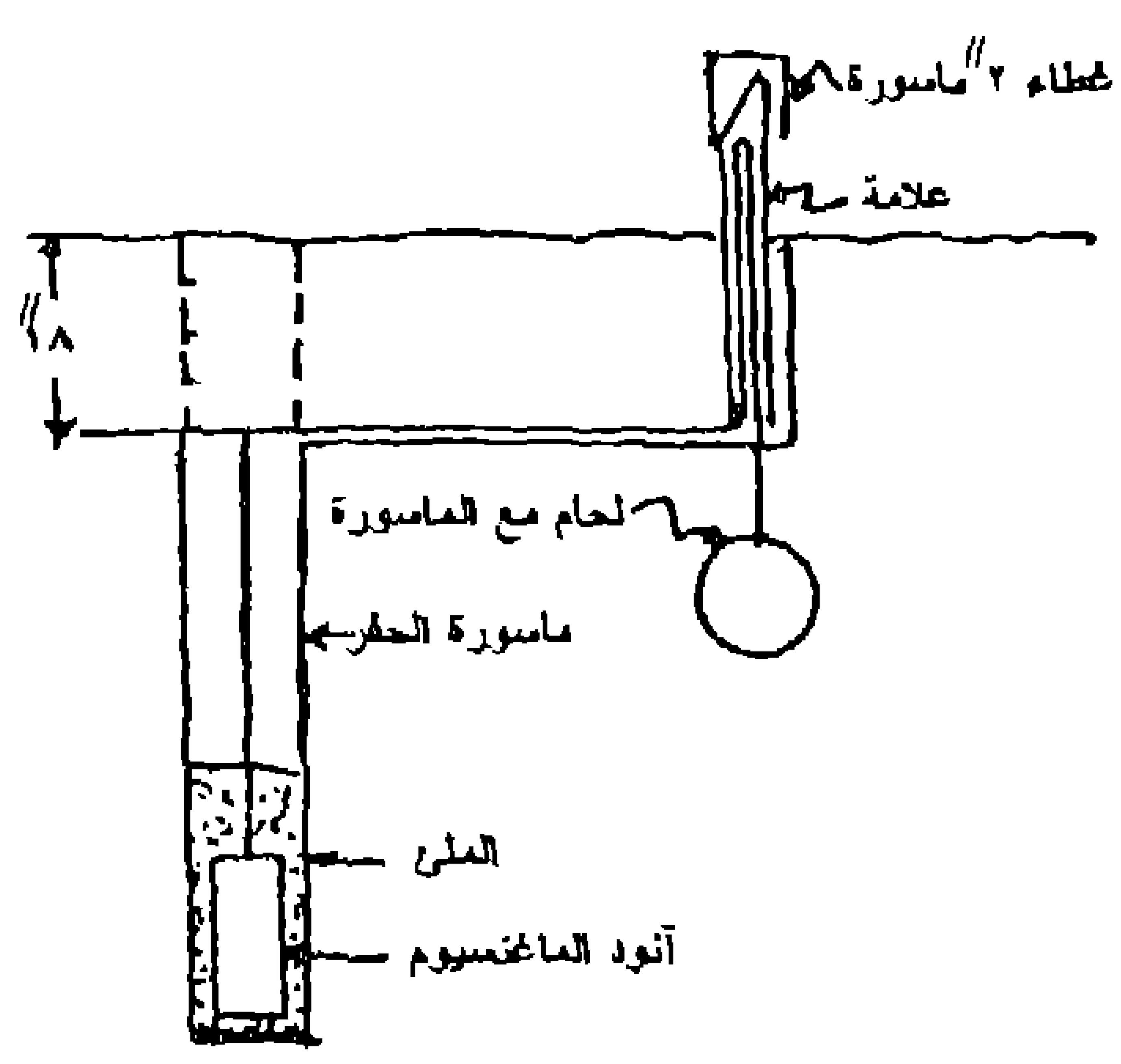
خطوات الإنشاء : (Installation Procedure)

بعد تعيين كمية التيار التقريبية التي يلزم حرفها، فإن الخطوة التالية هي التقدم نحو الإنشاء . كمثال ، إذا كان التيار المقدر المطلوب ٠,٥ أمبير للميل، فإنه يتم اختيار الموقع خلال حوالي ميل من نهاية المقطع . يتم التقاط نقطة منخفضة رطبه ذات مقاومة للتربة منخفضة نسبياً .عدد وحجم الآنودات التي يلزم إنشائها سيتحدد بالمقاومة واستجابة الخط نفسه . كفاءة عامة، يتم استخدام آنودات ٥٠ رطل فقط في حالة المقاومة ٤٠٠ أوم-سم أو أقل، ٣٢ رطل حتى ٧٠٠ أوم-سم ، ١٧ رطل أعلاء، مع احتمال أن إجمالى خرج التيار قد لا يزيد عن ١٥٠٠ أوم-سم .

التوصيل للماسورة يتم عمله قبل ما لا يزيد عن آنود واحد تم إنشائه، سيكون من الممكن عندئذ ملاحظة خرج التيار للآنودات المتتالية مع توصيلهم، والإنشاء يتم إيقافه قبل أن يهبط متوسط الخرج للآنود إلى أقل من ١٥٠% من القيمة التصميمية . (حتى في حالة عمر افتراضي ١٠ سنوات فإن قيم التصميم للأحجام الثلاث التي ذكرت هي ٨٥ ، ١٨٥ ، ٦٢ ملي أمبير بالتتالي) .

موقع المجموعة الثانية يتم اختياره على مسافة ضعف تلك حيث التيار التصميمي للمجموعة الأولى سيقوم بتغطيتها . هذه العملية يتم عندئذ استمرارها، إنشاء

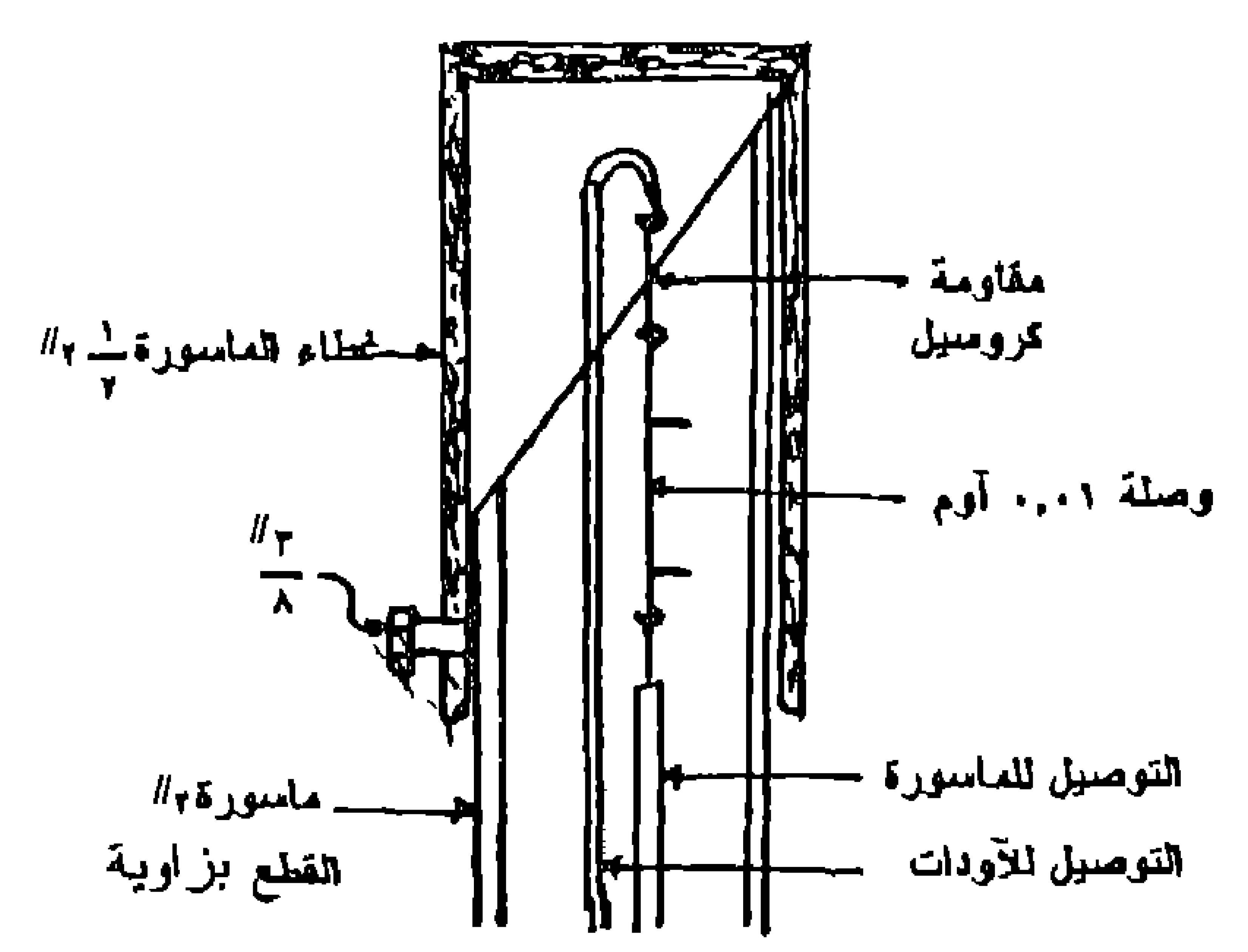
مجموعات عند حوالي ضعف الفاصل التصميمي، حتى تغطية كل الخط، يتم إنشاء التحويلات (الفروع – Shunts) . ولكن ليس محددات مقاومة التيار . التوصيل بين التحويله وسلك التوصيل للآنود يمكن عملها بواسطة توصيله ميكانيكية مؤقتة في ذلك الوقت. التنظيم الميكانيكي لمحطة الآنود معرض لتغير كثير في التصميم، الشكل(٧/٣) يوضح واحد من الاحتمالات .



شكل (٧/٣) نموذج لإنشاء الآنود تفاصيل الإنشاء موضح في الشكل (٧/٤)

الاستقطاب والضبط النهائي : (Polarization And Final Adjustment)

الآنودات التي تم إنشائها يتم السماح لها بالعمل بدون إعاقة لمدة زمنية حوالي ثلاث أسابيع أو أكثر. وهذا سوف يوفر الاستقطاب المناسب وثبات خرج التيار . بعد هذا الوقت، يتم عمل المباحث لخرج التيار والجهد الماسورة – إلى – التربة . يتم وضع مقاومات حيثما يكون ذلك مطلوبا، وخفض التيار إلى القيمة التصميمية . من المهم مراجعة الجهد عند نقط متوسطة بين المحطات (في حالة عدم مساواتها في الحجم، ثم عند النقطة المنخفضة) . في حالة إمكان وجود كل هذه الخطوط أعلا من ٠,٨٥ ، عندئذ فإن الإنشاء يكون قد تم عادة ، ليس ذلك هو الذي يحدث، حيث يلزم إضافة آنودات . البعض يمكن أن يضاف للمحطة الموجودة، إذا كان خرج التيار مازال مرتفعا بما يكفي للسماح بذلك، وإلا يتم إنشاء محطة جديدة بين المجموعات الموجودة . هذا سوف بالتالي يدخل نقط جديدة، والتي يلزم مراجعتها . يكون كل الخط تحت الحماية كاملا بالإنشاءات الثقيلة حيثما تكن مطلوبة ، وبذا بأقصى أقرب توفير شكل (٧/٤) .



شكل (٧/٤) تفاصيل محطة توصيل الآنود ، بعد الضبط النهائي ، كل التجهيزات خلال الماسورة تاركا اطراف المقاومة معرض . يمكن ملئ بالماسورة بالأسفلت إلى القمة، يتم رفع الأسلاك أولا فوق هذا المنسوب. استخدام الوصلة الميكانيكية بدلا من وصلات اللحام بالفضة لا يوصى به، فرق الجهد يكون قليل جدا لدرجة أن أى تآكل قليل يمكن أن يحدث قفل للدائرة .

تطوير العملية بالخبرة :(Modification Of The Process With Experience)

الطريقة التي تم شرحها يقصد بها أولئك الذين ليس لهم خبرة أو الذي لهم خبرة قليلة في التقنية . مهندس التآكل الخبير يربط واقع المجال الأولى والنهائي ، ويمكن أن يستحث طريقة على طول الخط الغريب، ملاحظا سلوك التيار وكذلك الجهود، أحيانا العودة ثانيا لتقوية مجموعة أو لإدخال واحدة جديدة، ولكن عموما يتم التحرك للأمام حتى وقت الوصول إلى نهاية الخط، حيث تكون الإنشاءات قد تمت . الضبط الأخير يكون عندئذ مجرد الضبط والمباحث بدون إنشاءات جديدة مطلوبة . المبدأ الأساسي المستخدم يظل نفسه، ولكن بدلا من المباحث ذات التفاصيل الدقيقة جدا والتي يليها العمل المكتبي، فإن هناك تقدير أولي يليه إنشاءات والتي تقطع لتناسب حيثما توضع .

الفصل الثامن

8

حماية النقطة الساخنة

Hot Spot Protection

حماية النقطة الساخنة

Hotspot Protection

عادة تكون الحماية الكاثودية الكاملة للخط الغير مغطى أو بالتغطية الضعيفة مكلفة . هذه تكون الحالة عندما تكون طبيعة الخط شبه مستمرة أو أن يكون تشغيله متقطع، بحيث يحدث فقد صغير عند قفل مصدر التيار، أو حيث الأرض التي يمر خلالها الخط أن تكون احتمالات التلف منخفضة أو غير موجودة . في أي من هذه الحالات المشابهة يجب مراعاة احتمالات استخدام الحماية فقط للمقاطع من الخط الأكثر عرضة للتآكل، عادة بالتركيز على تلك " النقط الساخنة " فإن معدل التسرب يمكن أن ينخفض إلى ٥ – ١٠% من القيمة الأصلية، حيث تصل التكلفة إلى حوالي ١٥% من تكلفة الحماية الكاملة .

هذا النوع من نظم الحماية، يتطلب كميات صغيرة من التيار ليتم صرفها من الخط عند أماكن مختلفة يؤدي طبيعيا إلى اختيار آنودات المغنسيوم كمصدر للتيار . المشكلة عندئذ هي الاختيار بين مختلف أحجام الآنودات المتاحة، وتعيين المكان حيث تكون الآنودات مطلوبة، والعدد المطلوب إنشاؤه في كل مكان . نظرا لأن كل العملية مبنية على تحقيق درجة مناسبة من الحماية بأقل التكاليف الممكنة ، فإنه يمكن أن يكون هناك تكاليف ضخمة بالنسبة لعمليات الاستكشاف والتصميم ؛ على الجانب الآخر فإن إنشاء الآنودات المنشأة هنا أو هناك على الخط من المؤكد أنه بدون عائد .

تعيين مكان النقط الساخنة : (Locating The Hotspots)

توجد ثلاث طرق أساسية لتعيين مكان النقط الساخنة (١) حيث وجد تسربات ، أو أن هناك شواهد مرئية للتآكل، حيث توجد النقط الساخنة (٢) المباحث للجهد السطحي يمكنها كشف وجود تدفق للتيار والذي هو من شواهد التآكل النشط (٣) أظهرت مباحث التربة الأماكن المحتمل حدوث التآكل فيها .

في الخطوط التي بدأت في إيجاد مشاكل فإنه يجب عدم إهمال أو تجاهل النقط الساخنة التي نتجت عن التسرب الذي سبق حدوثه . وبالمثل عند إنشاء بعض الحماية فإن حدوث التسرب يبين أنه هناك حاجة أكثر عند تلك النقطة بالتحديد .

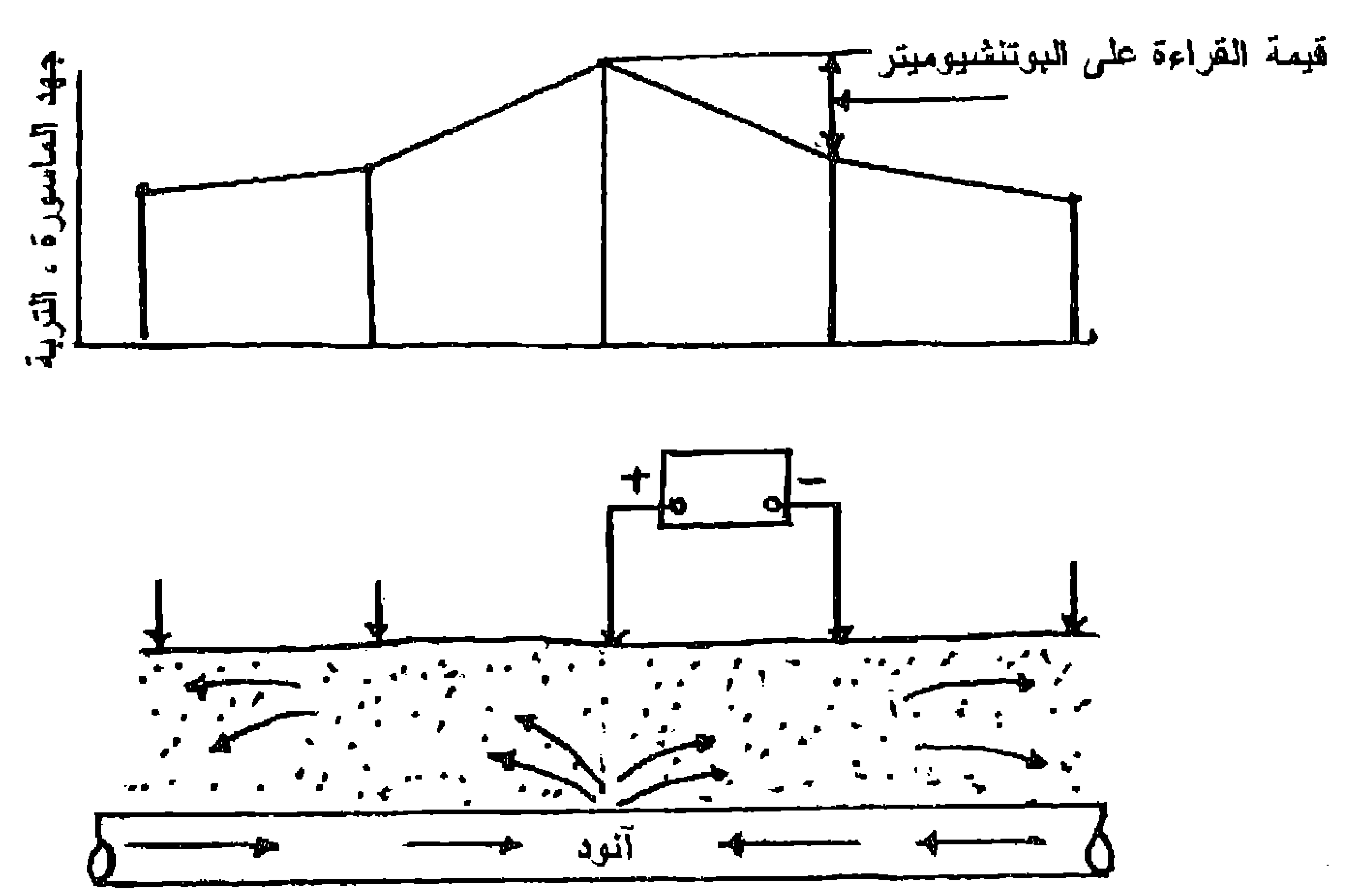
الملاحظة النظرية بالفحص المباشر للخط عن عمل أى حفر لأي غرض عادة سيمكن من تحديد الأماكن حيث يحدث التآكل، ولكنه لم يصل إلى حد التسرب الحقيقي.

في غياب مثل هذه الشواهد المباشرة للعدوانية، فإن مباحث الجهد السطحي (Surface Potential) ممكن أن تبين النقط التي عندها يكون التيار خارجا (تاركا) الخط، تلك سوف تكون آنودية أو مساحات تتآكل .

طريقة عمل مثل هذه المباحث تم وصفها في الفصل الثاني . بالنسبة للوضع الحالي يجب أن يكون الفاصل بين الأقطاب حوالي ٢٥ قدم عموما . عند اكتشاف حدوث انعكاس (Reversal) يمكن تقليل الفاصل إلى قيمة أصغر كثيرا ، عادة يمكن تعيين مكان النقطة الساخنة بدقة حوالي قدم أو اثنين . إذا كان الغرض الوحيد هو مكان النقط الساخنة، فإنه لا توجد حاجة للإشارة للجهود نحو الماسورة نفسها، كل ما هو مطلوب هو حدوث سريان التيار في التربة، كما هو مبين بالفروق ما بين قطبين من كبريتات النحاس . لزيادة البيانات الإيجابية عند وجود نقطة ساخنة، يتم أخذ القراءات بواسطة قطب واحد على الخط والآخر بعيدا بمسافة ٥ – ١٠ قدم بزوايا قائمة، يستخدم كلا الجانبين لإبعاد تأثيرات أى سريان تيار عبر الخط من مصادر غريبة .

الشكل (٨/١) يوضح سريان التيار على طول الخط وفي التربة قريبا من منطقة الآنود، وكذلك الشكل العام للجهد والذي سيتم الحصول عليه عند السطح .

عند تعيين مكان نقطة الإنعكاس ، فإنه يتم أخذ القراءات الجانبية، إذا كانت هذه كذلك تبين السريان في التربة بعيدا عن النقطة، فإنه لا توجد شواهد للنقطة التي تتآكل .



شكل (٨/١) تحديد مكان النقط الساخنة بالجهود السطحية . بالقرب من منطقة الآنود، أو النقطة الساخنة، يتدفق التيار في الماسورة نحو الآنود، بينما في التربة فإنه يسرى من الآنود . لذلك فرق الجهد على طول السطح فوق الماسورة يكون بعيدا عند النقطة الساخنة (فرق الجهد هو الانخفاض في الجهد) ، كما هو موضح في المخطط . النقطة ذات الجهد الأعلا هي مركز النشاط الآنودى .

غالبا لا يتم عمل مباحث للنقط الساخنة بهذه الطرق التي تم وصفها، ذلك بسب النفقات المستخدمة . الطريقة دقيقة جدا ، ومفيدة أحيانا في المناطق المزدحمة، أو عند التعامل مع خط ذو تكلفة عالية، مثل الكابلات عالية الفولت من نوع المواسير.

مباحث مقاومة التربة تكون أحيانا أقل في الدقة، ولكن أقل في التكلفة، وهي الطريقة المستخدمة في معظم هذه المباحث . بالإضافة إلى تعيين مكان النقط التي هي تتآكل فعلا، فإنها تحدد مكان أماكن احتمالات حدوث التآكل . وكذلك يمكن عملها على طول طريق الخط المقترح بدون وجود المواسير مع تساوى صحة الحالتين . يمكن أخذ القراءات من أحد طريقتين ؛ طريقة النهايات الأربع (الأكثر استخداما) أو بخابور (قضيب – Rod) واحد، حيث في هذه الحالة فإن التوقيت المناسب لعمل المباحث هو أثناء الإنشاءات، مع أخذ القراءات من قاع الحفر. الفاصل بين القراءات وطرق التوقيع ثم توضيحها في الفصل رقم (١)، هنا تظل مهمة تعيين مكان النقط الساخنة

توجد مناطق ذات مقاومة منخفضة نسبيا، وليس من السهل عمل قواعد معينة لاختيارها .كقاعدة عامة، يمكن اعتبار أن التربة ذات أقل من ١٠٠٠ أو-سم تعتبر غالبا عدوانية، عدا في حالة كونها الذروة العالية (High Peaks) على طول خط يكون عموما منخفض المقاومة . التربة أعلا من ١٠٠٠٠ أوم-سم .

تعتبر عموما غير عدوانية، عدا في حالة أن تكون في شكل وديان ضعيفة على الشكل العام (Profile) ، ما بين امتدادات تربة ذات مقاومات أعلى .

ولكن حتى في هذه الحالات، فإنها لا تكون سريعة العدوانية مثل التربة ذات المقاومة المنخفضة . ما بين القيم ١٠٠٠ ، ١٠٠٠٠ ، يتم الحكم على التربة بمقارنة جيرانها، المقاطع المنخفضة نسبيا ستكون المكان لمعظم العدوانية .

عادة الشركة أو مجموعة الشركات العاملة في مساحة عامة ستتبنى طريقة لاختيار النقط الساخنة وحمايتها . هذه خطوة بديهة ذلك لأن كل خطوط التجمع في مجال معين (كمثال) من المتوقع أنه يمكن أن يكون لهم نفس العمر الإفتراضي . في أحد المواقع عندما يكون متوسط المقاومة ١٥٠٠ أوم-سم مع أقل مقاومة مجاورة ٣٠٠ مع ندرة أى نقط أكثر من ٢٠٠٠ فإن الطريقة التالية مفيدة لحماية خطوط تجميع غير مغطاه (غير محمية) .

١- كل الخطوط في التربة أقل من ١٠٠٠ أوم-سم تستقبل حماية بمعدل ٢ ملى أمبير للقدم المربع .

٢- كل الخطوط في التربة ما بين ١٠٠٠، ١٥٠٠ أوم-سم لتستقبل ١,٥ أمبير للقدم المربع ، باستثناء كون التربة على كلا الجانبين للمقطع ذات مقاومة أقل حيث في هذه الحالة لا تستخدم أى حماية .

٣- الخطوط في التربة ما بين ١٥٠٠ ، ٣٠٠ أوم-سم لتستقبل واحد ملي أمبير للقدم المربع، ولكن فقط في حالة التربة على كلا الجانبين ذات مقاومة أعلا

عند تطبيق هذه القواعد، الخطوة الأولى هي مراجعة الأشكال العامة للمقاومة التي تم توقيعها، والتعليم عادة على طول أسفل الصفحة (Bottom Of The Sheet)

الأطوال التي توجد كأنها نقط ساخنة بهذه التعاريف . يمكن استخدام ثلاث ألوان ، أو خطوط ذات أشكال مختلفة لتمييز الثلاث درجات . هذا يحدد مكان النقط الساخنة كما تم تعريفها، يظل القرار المطلوب وهو ماذا سيتم عمله حولهم .

اختيار الآنود والفواصل : (Anode Selection And Spacing)

كمية التيار الذي سيصرفه الآنود عند اتصاله بخط غير مغطى تتحدد طبقا لحجم وشكل الآنود، ومكونات السبيكة المستخدمة، والجهد الذي سيتم توفيره للماسورة المطلوب حمايتها ومقاومة التربة . يتوقف عمر الآنود على إنتاج (خرج) التيار ، وحجم الآنود (بفرض أن كل الآنودات تعمل بنفس الكفاءة). مع كل هذه المتغيرات فإنة للتحكم في اختيار الانوات والتواصل بينهما علي طول النقط الساخنة التي سبق تحديدها ليس بالأمر الهين . ولكن، مع تبني مجموعة من مبادئ التصميم فإن العملية يمكن أن تتم ببساطه إلى الحد الذي يمكن عملها تلقائيا .

القرار الأول الذي يجب عمله هو العمر المفترض للمنشأ في معظم الحالات يكون رقم التصميم المستخدم هو عشرة سنين . في محاولة للتصميم لعمر افتراضي أطول بآنودات المغنسيوم ليس اقصاديا، ذلك بسبب إنخفاض كفاءة المغنسيوم على خرج منخفض للتيار . في حالة التصميم لفترة زمنية أقل فإن ذلك يعتبر غير اقتصادي، باستثناء حالة المواسير حيث عمرها المفيد أقل من ١٠ سنوات ، في هذه الحالة يتم عمل العمر التصميمي مساويا للعمر المفيد لنظام المواسير . ربما يلاحظ أنه ليس في كل حالات المواسير ذات العمر الافتراضي القصير أن يتم الاستمرار في الاستفادة بها ، وإن كان الخط المؤقت الذي استمر استخدامه لمدة ٢٠ عاما من الأمور العادية .

الأمر الثاني الذي يجب تحديده هو مجموعة الآنودات القياسية اللازم استخدامها . المجموعة البسيطة هي طبيعي أن تكون ذات الحجم الواحد. ولكن لتحقيق أقصى تأثير لمناسبة كل آنود لحالة معينة، فإن ذلك يتطلب مجموعة أكثر مرونة .

آنودات السبيكه القياسية متاحة بأحجام من ٢ أو ٣ أرطال حتى ٢٠٠ رطل. لحماية النفط الساخنة فإن يكفي عادة استخدام آنودات ذات ثلاث أحجام قياسية ١٧ ، ٣٢ و ٥٠ رطل .

عندما تكون مقاومة التربة منخفضة جدا، بحيث أنه حتى آنود ٥٠ رطل المنتج لتيار كثير إلا أن عمره أقل من ١٠ سنوات، عندئذ يمكن استخدام اثنين أو ثلاث آنودات في حفرة واحدة، أحدهما فوق الآخر، وسوف ينخفض التيار (لكل آنود) والعمر المقابل يمتد .

عند النهاية الأخرى للتدريج في التربة ذات المقاومة المرتفعة فإن الآنود الصغير (١٧ رطل) لا ينتج التيار الكافي، لذلك فإننا نضيف آنود ١٧ رطل من المغنسيوم عالي النقاء . والمعروف عادة بالآنود "عالي الجهد" ، هذا سوف يزيد العمر المفيد قليلا . عندما تكون المقاومة مازالت مرتفعة يمكن استخدام آنود طويل ورفيع بنفس السبيكة عالية الجهد . نظرا لمساحته الكبيرة فإنه سوف ينتج تيار عالى .

في معظم الحالات تكون هذه المجموعة هي كل ما تحتاج إليه في العمل في التربة التي مازالت مقاومتها مرتفعة، ومازالت تعطى إنتاج من التيار مرتبط بعمر ١٠ سنين ، عندئذ فإنه يجب اللجوء إلى الأطوال من قضبان المغنسيوم المنبثقه (Extruded)، ثم إلى سير المغنسيوم المنبثق . ولكن كلا من هذين يعملا عند عمر ١٠ سنوات في التربة ذات المقاومة العالية والتي تعتبر عادة أنها عدوانية طالما أن المطلوب هو إجراءات الحماية للنقط الساخنة .

موجز لما لدنيا من مخزون للأنودات المتاحة حيث تشمل الآتي :

٣ – ٥٠ رطل	سبيكة قياسية	٣٥٠ أوم–سم
٢ – ٥٠ رطل	سبيكة قياسية	٣٧٠ أوم–سم
١ – ٥٠ رطل	سبيكة قياسية	٥٥٠ أوم–سم
١ – ٣٢ رطل	سبيكة قياسية	٧٨٠ أوم–سم
١ – ١٧ رطل	سبيكة قياسية	١٥٠٠ أوم –سم
١ – ١٧ رطل	سبيكة ذات بطن منتفخة	١٩٠٠ أوم–سم
١ – ١٧ رطل	سبيكة ذات بطن منتفخة وطويلة	٢٩٠٠ أوم–سم

لكل من الآنودات الموضحة، أعطيت كذلك مقاومة التربة التي فيها سوف

تعطى التيار الكافي (عند توصيلها بماسورة صلب مستقطبة عند ٠,٨٥ فولت) بما يحقق عمر للأنود لمدة ١٠ سنوات . مغزى هذه القيم هي أن كل آنود يجب أن يستخدم في التربة ذات مقاومة مساوية أو أكبر من القيم الموضحة، وذلك للحصول على عمر ١٠ سنوات أو أكثر . في حالة وجود مساحات ممتدة ذات مقاومة أقل من ٣٥٠ أوم-سم، يكون من الضروري معالجة خاصة وهي إما آنودات أضخم (خاصة) أو من الناحية الاقتصادية يكون المنشأ مصمم لعمر أقل .

يتحدد الفاصل بين الآنودات على طول الخط طبقا لخرج التيار للحجم الذي تم اختياره عند كل مقطع، وكذلك طبقا لقطر الخط، بحيث يستقبل كل مقطع كثافة التيار المطلوبة .

يمكن تحضير الجداول لحجم كل آنود والتيار المتوقع في مختلف أنواع التربة وكذلك العمر المتوقع المقابل لكل تيار، وكذلك الفواصل لمختلف الأحجام للخط والذي سوف يوفر أى قيمة مطلوبة من كثافة التيار . مثل هذا الجدول كثير التعقيد بسبب الأعداد الكثيرة للمتغيرات . ولكن لأغراض التصميم يستخدم الجدول حيث الآنودات المستخدمة فقط، بالإضافة إلى توضيح قيم المقاومة المفيدة لكل آنود (طبقا لكثافة التيار، العمر المطلوب) والفواصل طبقا لحجم الماسورة تحت الدراسة . الجدول الآتي هو كمثال . فهو مصمم حول عدد من الآنودات ، مبني على عمر ١٠ سنوات، ومحدد بعدد ٢ ملي أمبير للقدم المربع . كل بالنسبة للماسورة الغير مغطاه ذات الثلاث أبعاد ٢ بوصة ، ٣ بوصة ، ٤ بوصة .

جدول (٨/١)

مقاومة التربة أوم- سم	الآنودات	التيار على أمبير	العمر بالسنين	الكثافة ملي أمبير القدم المربع	الفاصل بالقيم طبقا لقطر الماسورة		
					″٢	″٣	″٤
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨
٣٦٠	S٥٠-٣	٨٤٠	١٥,٣	٢	٦٧٥	٤٥٦	٣٥٤
٣٨٠	S٥٠ -٢	٥٦٩	١٠,١	٢	٤٥٧	٢١٠	٢٤٠
٤٠٠	S ٥٠-٢	٥٤١	١٠,٦	٢	٤٣٥	٢٩٥	٢٢٨

مقاومة التربة أوم- سم	الآنودات	التيار على أمبير	العمر بالسنين	الكثافة ملي أمبير القدم المربع	الفاصل بالقيم طبقا لقطر الماسورة		
					٢″	٣″	٤″
٤٢٠	S ٥٠-٢	٥١٦	١١,٢	٢	٤١٥	٢٨١	٢١٨
٤٤٠	S ٥٠-٢	٤٩٣	١١,٧	٢	٣٩٦	٢٦٨	٢٠٨
٤٦٠	S ٥٠-٢	٤٧٢	١٢,٢	٢	٣٧٩	٢٥٨	١٩٩
٤٨٠	S ٥٠-٢	٤٥٣	١٢,٧	٢	٣٦٤	٢٤٧	١٩٢
٥٠٠	S ٥٠-٢	٤٣٥	١٣,٢	٢	٣٥٠	٢٣٧	١٨٤
٥٢٠	S ٥٠-٢	٤١٩	١٣,٧	٢	٣٣٦	٢٢٨	١٧٧
٥٤٠	S ٥٠-٢	٤٠٤	١٤,٣	٢	٣٢٤	٢٢٠	١٧٠
٥٦٠	S٥٠-١	٢٨٥	١٠,١	٢	٢٢٩	١٥٥	١٢٠
٥٨٠	S٥٠-١	٢٧٥	١٠,٥	٢	٢٢١	١٥٠	١١٠
٦٠٠	S٥٠-١	٢٦٦	١٠,٨	٢	٢١٤	١٤٥	١١٢
٦٢٠	S٥٠-١	٢٥٨	١١,١	٢	٢٠٧	١٤١	١٠٩
٦٤٠	S٥٠-١	٢٥١	١١,٥	٢	٢٠١	١٣٦	١٠٥
٦٦٠	S٥٠-١	٢٤٣	١١,٨	٢	١٩٥	١٣٢	١٠٢
٦٨٠	S٥٠-١	٢٣٦	١٢,٢	٢	١٨٩	١٢٨	٩٩
٧٠٠	S٥٠-١	٢٢٩	١٢,٦	٢	١٨٤	١٢٥	٩٧
٧٢٠	S٥٠-١	٢٢٣	١٢,٩	٢	١٧٩	١٢٢	٩٤
٧٤٠	S٥٠-١	٢١٧	١٣,٢	٢	١٧٤	١١٨	٩٢
٧٦٠	S٥٠-١	٢١١	١٣,٦	٢	١٦٩	١١٥	٨٩
٧٨٠	S٣٢-١	١٨٦	١٠ر	٢	١٤٨	٩٨	٧٨
٨٠٠	S٣٢-١	١٨٠	١٠,٢	٢	١٤٤	٩٥	٧٦
٨٢٠	S٣٢-١	١٧٦	١٠,٥	٢	١٤١	٩٣	٧٤
٨٤٠	S٣٢-١	١٧٢	١٠,٨	٢	١٣٨	٩١	٧٣
٨٦٠	S٣٢-١	١٦٨	١١ر	٢	١٣٥	٨٩	٧١
٨٨٠	S٣٢-١	١٦٤	١١,٣	٢	١٣٢	٨٧	٦٩

مقاومة التربة أوم- سم	الآنودات	التيار على أمبير	العمر بالسنين	الكثافة ملي أمبير القدم المربع	الفاصل بالقيم طبقا لقطر الماسورة		
					٢"	٣"	٤"
٩٠٠	S٣٢-١	١٦١	١١,٥	٢	١٢٩	٨٥	٦٨
٩٢٠	S٣٢-١	١٥٨	١١,٨	٢	١٢٧	٨٣	٦٧
٩٤٠	S٣٢-١	١٥٤	١٢ر-	٢	١٢٤	٨١	٦٥
٩٦٠	S٣٢-١	١٥١	١٢,٣	٢	١٢١	٨٠	٦٤
٩٨٠	S٣٢-١	١٤٥	١٢,٨	٢	١١٦	٧٦	٦١
١٢٠٠	S٣٢-١	١٢١	١٥,٣	٢	٩٧	٦٤	٥١
١٤٠٠	S٣٢-١	١٠٤	١٧,٨	٢	٨٣	٥٥	٤٤
١٦٠٠	S٣٢-١	٩١	١٠,٧	٢	٧٣	٤٨	٣٨
١٨٠٠	S٣٢-١	٨١	١٢,١	٢	٦٥	٤٣	٣٤
٢٠٠٠	H ١٧-١	٩١	١٠,٨	١	٧٣	٤٩	٣٨
٢٢٠٠	H ١٧-١	٨٢	١١,٩	٢	٦٦	٤٥	٣٥
٢٤٠٠	H ١٧-١	٧٦	١٢,٩	٢	٦١	٤١	٣٢
٢٦٠٠	H ١٧-١	٧٠	١٤ر-	٢	٥٦	٣٨	٣٠
٢٨٠٠	H ١٧-١	٦٥	١٥ر-	٢	٥٢	٣٥	٢٧
٣٠٠٠	LH ١٧-١	٩٣	١٠,٥	٢	٧٥	٥١	٤٠
٣٢٠٠	LH ١٧-١	٨٨	١١,٢	٢	٧١	٤٨	٣٧
٣٤٠٠	LH ١٧-١	٨٣	١١,٨	٢	٦٦	٤٥	٣٥
٣٦٠٠	LH ١٧-١	٧٨	١٢,٥	٢	٦٣	٤٢	٣٣
٣٨٠٠	LH ١٧-١	٧٤	١٣,٢	٢	٦٠	٤٠	٣١
٤٠٠٠	LH ١٧-١	٧٠	١٣,٩	٢	٥٧	٣٨	٣٠
٤٢٠٠	LH ١٧-١	٦٧	١٤,٦	٢	٥٤	٣٦	٢٨
٤٤٠٠	LH ١٧-١	٦١	١٦ر-	٢	٤٩	٣٣	٢٦
٤٨٠٠	LH ١٧-١	٥٩	١٦,٧	٢	٤٧	٣٢	٢٤
٥٠٠٠	LH ١٧-١	٥٦	١٧,٤	٢	٤٥	٣٠	٢٤

يجب معرفة أن الجدول (٨/١) يستخدم فقط في مجموعة واحدة من الحالات: ١٠ سنين للعمر، ملي أمبير للقدم المربع، وكذلك مجموعة الآنودات التي ذكرت وأقطار المواسير الثلاث المعطاة . كما أنه ضمنيا كذلك في أن التيار المتوفر سيكون كافي فقط للوصول بالماسورة إلى ٠,٨٥ فولت بالنسبة لقطب كبريتات النحاس المشبعة. هذا تقريب طبيعي وهو أن الفرضيات والتي قد لا تتحقق تماما وبذا تعمل على كون التصميم أقل توافقا بالنسبة للقواعد النظرية .

صعوبة أخرى تقع عند مطابقة الآنودات المقاومة التي تم توقيعها . أى نقطة ساخنة واحدة ستظهر قيم متعددة لهذا المتغير، ونقطة القراءة الحقيقية سوف لا تنطبق معا، وتكون عادة أقل عدديا عن نقطة إنشاء الآنود . لذلك فإن المقاومة الحقيقية التي يوضع فيها آنود معين لا تعرف بدقة، ولكن يجب أن تتداخل مع القراءات المجاورة. عمليا، فقد وجد أن هذه ليست صعوبة لا تزلل، يتم إدخال الأخطاء ولكنها ليست خطيرة، بالتأكيد التقنية تعمل بطريقة مرضيه .

يمكن عمل جداول عامة كثيرة، حيث فيها الخرج لكل حجم للآنود يتوفر لمجال كبير من التربة، كاملا من العمر المفترض، الفواصل بالنسبة لمختلف أقطار المواسير وعند مختلف كثافات التيار وأى بيانات أخرى. في الحقيقة فقد تم عملها بنفس هذه الطريقة . في حالة مجموعة مختلفة من الحالات، يتم أخذ مجموعة مختلفة من الأجزاء ثم توصيلها معا .

الإنشاء في الموقع: (Field Installation)

عند أخذ البيانات من مثل هذه الدراسة إلى الموقع للإنشاء الحقيقي، فإن جهاز قياس المقاومة يجب عدم وجوده . معظم مباحث المقاومة تعمل باستخدام الفواصل وليس بالتسلسل، وتحديد المكان الصحيح للنقط حيث تم أخذ القراءات قد لا يكون سهلا. هذا بجانب عند أخذ قراءتين مثل ٧٨٠ و ٨٠٠ أوم – سم ، بفاصل ٤٠٠ قدم، فإنه من المستحيل التأكد أن التربة فيما بينهم هي في نفس المجال، فقد تتحول لتكون ٣٠٠٠ . وهذا يؤثر بقوة على المنشأ . المقاومة الحقيقية التي يتم فيها وضع الآنود يجب تأكيدها دائما بالقياس في توقيت الإنشاء، ولكن الطريقة التبادلية سيتم تناولها حالا وهي التصميم الحقلي .

التصميم الحقلي : (Field Design)

الطريقة الأخرى للخروج من الورطة التي تم وصفها هي بعمل التصميم الحقيقي في الموقع . حيث يكون من الضروري أن يكون هناك شخص يقدم الحسابات بينما الآخر يقوم بالقياس . عادة يلزم طاقم من ثلاث أفراد بسبب ضرورة خوازيق التعليم . في هذه الطريقة يسير الطاقم مع الخط حيث يؤخذ قراءات المقاومة طبقا للحاجة . يتم عمل التصميم (من جدول عمل خصيصا كما سبق وصفه) واستنتاج المقاومة عند الأماكن الحقيقية لمعظم الآنودات والتى يتم تعليمها بخوابير كما تقرر. في الامتدادات الطويلة للتربة المتجانسة نسبيا، مع فواصل آنودات متقاربة يكون ليس من الضروري مراجعة كل موقع منفرد . عمليا ، هذه الطريقة سنجد أنها مؤثرة جدا واقتصادية .

آنودات الزنك في حماية النقط الساخنة:
(Zinc Anodes In Hotspots Protection)

نظرا لقلة الجهد (Driving Voltage) وبالتالي قلة التيار في استخدام معين، فإن آنودات الزنك تجد لها مكان في حماية النقط الساخنة للخطوط الغير مغطاة فقط في التربة ذات المقاومة المنخفضة . مصفوفة الآنودات التي تم تناولها لا يمكن أن تمتد للاستخدام في التربة الأقل بإضافة حجمين أو أكثر من آنودات الزنك .

نظرا لأن ذلك متاح في مثل هذا التنويع الكبير للأحجام بالإضافة إلى المكونات المتعددة، فإنه لم تتم جداول محسوبة لذلك .

كما ذكر سابقا، فإن الزنك يختلف عن المغنسيوم في أن كفاءة التيار تكون بالنسبة للإنشاءات ذات العمر الطويل جدا حتى ٣٠ سنة، حتى في حالة العمر المفيد المتوقع لهذا الطول، فإن تكرار الإنشاءات عند فترات ١٠ سنوات سيكون أقل تكلفة . ولكن ليس هذا هو الحال بالنسبة لكثير من نظم التوزيع، حيث الرصف، والمساكن الضيقة وصعوبة الوصول لأسباب متعددة يجعل الإنشاءات ذات العمر الطويل أكثر قبولا . في هذه الحالات يكون الزنك قابل للاستخدام .

تفاصيل الإنشاء : (Installation Detalis)

عموما يتم وضع الآنودات بحوالي ١٠ أقدام من الخط وبعمق ثمانية أقدام . هذا العمق يمكن خفضه في حالة وجود رطوبة مستمرة على أعماق منخفضة، ويجب خفضه في حالة الطبقة السفلية للتربة ذات مقاومة عالية . وضع الآنودات قريبا من الخط سينتج عنه زيادة قليلة في خرج التيار (حتى حوالي ٥٠% عند فاصل ٢ قدم)، ولكن التيار الإضافي المتحصل عليه يتدفق كله تقريبا نحو الماسورة المجاورة، لذا فإن المكسب يبدو كثيرا بخلاف الواقع . أحيانا يكون من الطبيعي في حالة وجود خطوط أخرى في نفس الاتجاه أن يكون من الضروري وجود الفاصل أقرب، في هذه الحالة، فإن العملية المطلوبة يمكن تحقيقها بزيادة العمق .

في معظم الحالات، يتم توصيل كل آنود بواسطة سلك التوصيل الخاص به.

يمكن إنشاء محولات ومقاومات التحكم، ولكن في مشروعات النقط الساخنة أحيانا تلغى المحولات . في حالة ضبط المقاومة في نفس وقت إنشاء الآنود فإنه يكون من الضروري عمل التجاوز بالنسبة لانخفاض التيار المتوقع والذي يحدث مع الاستقطاب ومع إنشاء آنودات إضافية. لعمل هذا التجاوز يلزم بعض من الخبرة، حيث لا يمكن عمله بدقة ، ربما ٤٠ إلى ٥٠% يكون مناسبا .يمكن تحقيق نتائج أفضل في حالة تأجيل الضبط النهائي حتى تمام دخول كل الآنودات والخدمة لعدة أسابيع قليلة، ولكن هذه الطريقة من الواضح أنها مكلفة، ولكن في حالة عدم توفر الخدمة الكافية فإن التكاليف الإضافية تكون مبررة ومقبولة. في الحالات التي يكون فيها من الصعب توصيل أسلاك التوصيل بالخط كما في حالة المناطق المغمورة بالمياه، فإنه يمكن وضع سلك التجميع موازي للخط، وتوصيل الآنودات به. سلك التجميع يمكن عندئذ توصيله بالماسورة عند أماكن مناسبة وهذه يجب ألا تزيد عن ٤٠٠ أو ٥٠٠ قدم بعيدة عن بعضها البعض، كما يمكن أن تكون أقرب من ذلك، باستثناء الحالات الصعبة جدا.

قد يكون من الممكن أو من غير الممكن ترك بعض من أنواع العلامات الثابتة لإظهار مكان كل آنود، عادة لا يمكن عمل ذلك، ولكن تؤخذ الإجراءات بالقياس الحذر والتسجيل لتأكيد المعرفة الدقيقة للمكان ويمكن استعادتها لأغراض الاختبار .

المراقبة والتحكم: (Supervision And Control)

المنشأ الذي تم عمله بالطرق التي سبق ذكرها لا يمكن اعتباره متقنا أو كاملا. كما ذكر سابقا فإن الطريقة التي تم وصفها هي لتوفير قدر مقبول من الحماية، ولكن من المحتمل عدم إدراك بعض النقط الساخنة إما لسبب قصرها الشديد جدا وتم تخطيها في عمليات المباحث أو أنها تكون بسبب الظروف المحلية العالية بما لم يمكن من ملاحظتها على سطح الأرض . من أن آخر فإنه يمكن أن يعلنوا عن أنفسهم بالتسربات. كما أنه يمكنهم التسرب في النقط حيث العملية لم تكن مناسبة. في أي من الحالات ، فإنه يجب إنشاء آنودات إضافية . إنه من العمل الذي ينصح به في حالة الخطوط الغير مغطاه، حتى في حالة عدم إنشاء نظام للنقط الساخنة، أن يتم إنشاء واحد أو اثنين من الآنودات عند موقع كل تسرب معروف أو أن يكون محتمل حدوثه بسبب التآكل، أو عند أى مكان حيث أى حفر للخط لأي سبب أظهر بوادر التآكل أو معرض لتربة عدوانية. الآنودات المنشأة بهذه الطريقة ليست مكلفة جدا، كما أنها تعتبر أحد أشكال التكاليف المنخفضة لتأمين التسرب .

يمكن تلقين طاقم الإصلاح بسهولة بطريقة الإنشاء، والفقد الذي يحدث بوضع الآنودات الغير مطلوبة سوف لا يكون كبيرا مثل الفقد الذي يتم تجنبه بتلك المفيدة .

حيث أن حماية النقط الساخنة هي أساسا حماية منخفضة التكاليف، فإنه توجد نقط صغيرة لإتقان المباحث والتفتيشات وكذلك لإتقان المباحث الأولية .عموما عند فترات من ٢ – ٣ عام يتم عمل مراجعة على معظم الآنودات لمعرفة مدى تدعيم خرج التيار. تلك في النقط الصعبة بالتحديد يمكن تخطيها شريطه أن عدم وجود سبب للشك في أي تلف لأسلاك التوصيل، وكذلك شريطه عدم تخطي الكثير في امتداد واحد. عملية المباحث الكاملة على فترات منتظمة كل ٢ – ٣ عام ليست عالية التكلفة كما أنها يحتمل أن تبرر نفسها بضمان استمرار الحماية .

الفصل التاسع

9

التحلل الكهربى بالتيارات الشاردة

Stray Current Electrolysis

التحلل الكهربي بالتيارات الشاردة

Stray Current Electrolysis

مصادر التيارات الشاردة :

بعض من التيارات الكهربية التي تحدث تآكل في خطوط المواسير هي تلك الناتجة عن الفروق في الجهد الجلفني بين الأجزاء المختلفة للمنشأ الملتصق بالأرض. البعض الآخر يكون نتيجة تسرب التيار من بعض النظم الكهربية، حيث يمر جزء من التيار خلال الأرض. عندما يقع خط المواسير خلال ممر مثل هذا التيار فإنه توجد فرصة لدخول التيار الخط والخروج منه، وذلك عند النقاط التي يخرج منها حيث يحدث التآكل للماسورة . بسبب طبيعة هذه التيارات التي تحدث مصادفة وعن غير قصد فإنها تعرف عادة بالتيارات الشاردة، والتلف الذي تحدثه يعرف بالتحلل الكهربي بفعل التيارات الشاردة .

عموما أكبر مصدر للتيار الشارد هو مسارات السكك الحديدية التي تعمل بالكهرباء (مثل خطوط المترو) أو عربات الترولى التي تسير بالكهرباء . الشكل (٩/١) يوضح في شكل مبسط مسار التيار . يجب ملاحظة أن قضبان السكك الحديدية من المفترض أنها توفر ممر العودة للتيار، كما أنه من المفترض في حالة الاتصال الجيد بين وصلات القضبان سوف لا تحدث أى مشاكل . ولكن ذلك مخالف للواقع . فالتيار الكهربي لا يتبع مسار أقل مقاومة . على الأقل فإنه لا يتبع هذا الممر. التيار الكهربي عند توفر ممرات متوازنة من اثنين أو أكثر، فإنه يقسم نفسه بينهم بعكس المقاومة . حالة ممر السكة الحديد بمقاومه تساوي $\frac{1}{10}$ (عشر) مقامة ممر التربة، عندئذ فإنه سوف يحمل عشرة أضعاف مثل هذا التيار – ولكن الجزء المتبقي، وهو $\frac{1}{12}$ من التيار الكلي والذي يسرى خلال التربة يكون كافيا لإحداث كثيرا من التلف .

الموقف ليس دائما بالبساطة التي تم توضيحها في المخطط. أحيانا يكون الخط الذي تأثر يقع على مسافة كبيرة من مسار الخط الكهربي (Track)، ربما تكون نقطة

العدوانية قريبة من تقاطعات خطين، حيث بعض من التيار يترك أحد الخطوط ويدخل في الآخر. الشكل (٩/٢) يوضح حالة والتي يكون من الصعب اكتشافها، بالنظر للمسافة من أقرب خط كهربي إلى نقطة التلف، لذا فإن العلاقة واضحة، بمجرد تعقبها ورسمها بيانياً .

توجد مصادر أخرى محتملة للتيار الشارد، بالإضافة إلى القضبان الكهربية غالباً فإن معظم شبكات الطاقة ذات التيار المستمر (DC) قادرة على إحداث التلف بهذه الطريقة، رغم أن معظمهم يكون برئيا . طرق القضبان الحديدية في المناجم والأوناش والأجهزة المستخدمة للتيار الثابت تكون محل شك .

أحياناً يكون هناك تعرض حاد في وقريباً من المصانع الكيماوية المستخدمة للعمليات الاليكتروليتية (Electrolytic) . معدات اللحام وخاصة عند الاستخدام في العمليات الإنتاجية هي مصدر عادى للمشاكل، رغم أنه نادراً ما يحدث التلف على أي مسافة بعيدة من المعدة، بما يمكن من سهولة تعيين موقعها .

أخيراً إنه واقع حقيقي أن التيارات الثابتة التي يتم إدخالها عمداً في التربة بهدف عمل الحماية الكاثودية لمنشأ ما تكون قادرة على إحداث تلف كبير للمنشآت الأخرى الموجودة في نفس التربة . هذا ليس بالتأكيد " تيار شارد " ، تأثير التلف يكون عادة مصادفة ولكن وجود التيار في التربة ليس مصادفة . الاعتبارات نحو هذا الموضوع سيتم مناقشتها في الفصل التالي .

إكتشاف التيار الثابت:

عند عمل قياسات لأي كمية من الكهرباء المتصلة بخط المواسير – تيار الخط، الجهد من الخط – إلى الماسورة أو أى قياس آخر – أظهرت قيم متغيرة، فإنه توجد حالياً تغذية من التيار الشارد موجودة، عادة يمكن المساعدة المفيدة بترك الجهاز متصلاً مع مجرد ملاحظة التغيرات لفترة زمنية قصيرة . سرعة وطبيعة التغيرات ستعطى أحياناً الدليل بالنسبة للمصدر، كما أنه يمكن أن يكون العمل الحقيقي للنظام المسبب للمضايقات ممكن ملاحظته، مثال ذلك، التغير الذي يحدث عند مرور عربة في الشارع (ترولي) يمكن أن تحدد الموقع .

عندما يكون من الصعب تعيين مكان المصدر بهذه الوسائل، فإنه يتم توصيل مقياس بالتسجيل . حتى في حالة أن القيم المسجلة ليست القيمة الحقيقية، بسبب إنخفاض الحساسية للجهاز، فإن التسجيل خلال ٢٤ سعة يمكن أن يكون مفيدا جدا. فمثلا ، في حالة توقف التغيرات في ساعة الظهيرة، عندئذ يكون المصدر هو الآلات الصناعية وليس معدات النقل . باستخدام أسباب مشابهة للتسجيل لعدة أيام متتالية، فإنه عادة يمكن تتبع مصدر التيار الثابت الذي يأتي منه التيار الشارد .

إجراءات العلاج : (Remedial Measures)

التغطية الجيدة ذات تأثير في خفض التلف الكلي الناتج عن التعرض للتيار الشارد، ولكن الخط، بالتغطية الجيدة قد يحدث له اختراق سريع في الثقوب الموجودة في طبقة التغطية حيث يكون معدل الاختراق أسرع منه في حالة الخط الغير مغطى. التغطية فقط لا يمكن الاعتماد عليها للحماية من التلف بفعل التيار الشارد، مثل ما هي غير كافية للحماية من التآكل بفعل التربة .

إنشاء وصلات معزولة على كلا جانبي القضبان الكهربية سيفعل كثيرا نحو إيقاف العدوان والتلف، حيث سيكون التعرض محدودا بالنسبة للجزء القصير بين الوصلات وهذا يمكن التعامل معه بأحد الطرق التي سيتم تناولها . مثل هذه الوصلات. في حالة عدم إقامتها بطريقة جيدة، فإنها يمكن أن تعمل على تركيز العدوان وبدون خفضه .

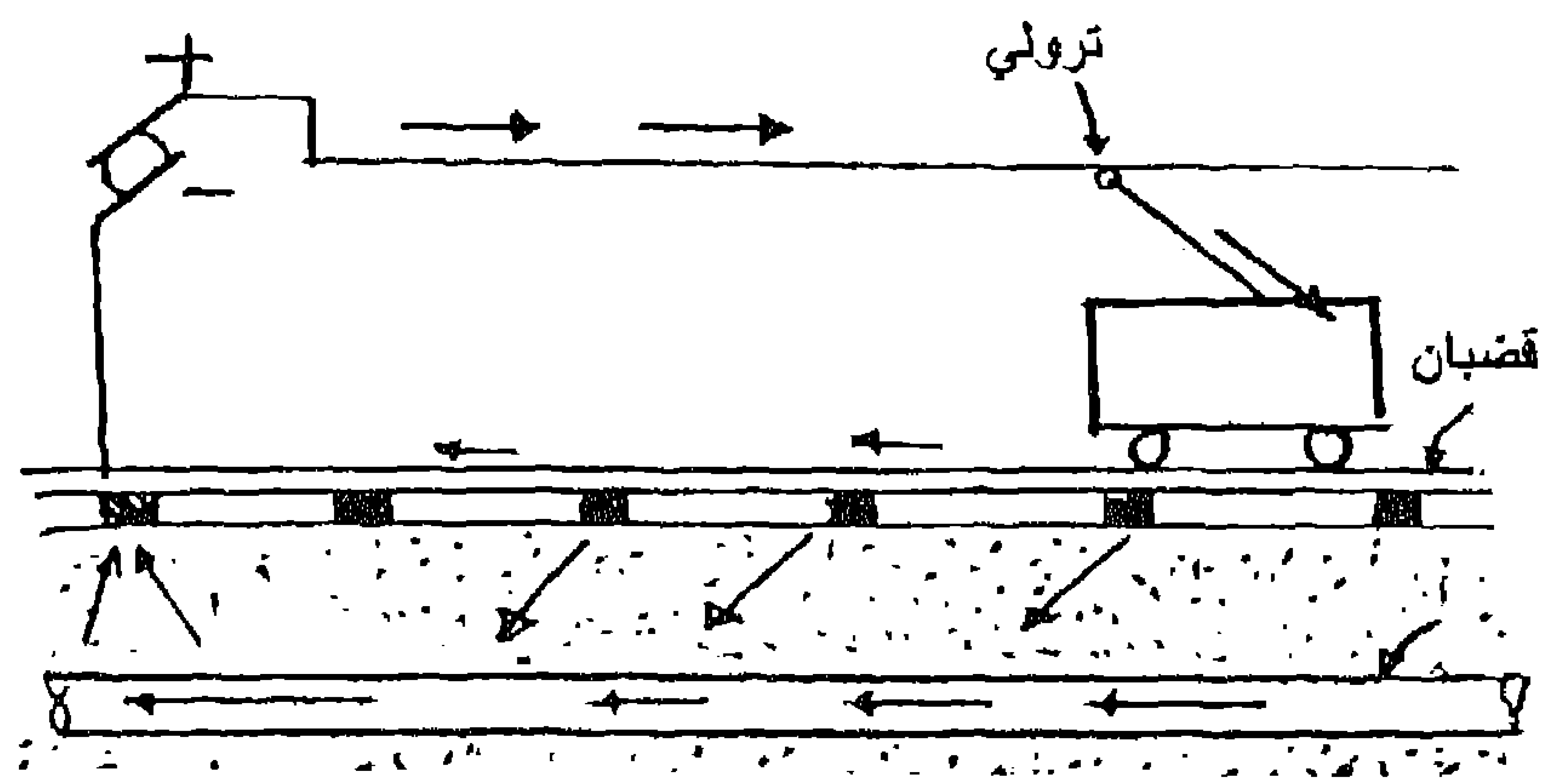
التعامل المباشر مع مشاكل التيار الشارد هو بإنشاء أربطة (Bonds) ما بين الماسورة المهددة والطرف السالب لنظام التيار الثابت المسبب لحدوث التلف، هذا يوفر ممر منخفض المقاومة والذي به فإن التيار المتجمع على الخط وعلى مقاطع كبيرة يمكن أن يغادر بدون أن يحدث أى أذى في المقطع الصغير المركز . الرباط "الصلب" (الغير مفرع) حيث يتوفر أدنى ممر ممكن للمقاومة المنخفضة هو أبسط طريقة وعادة تكون مؤثرة، كما أنه يكون ضروري أحيانا الرباط بقيم ذات مقاومة معينة .

في بعض الأماكن، حيث يتوقف اتجاه وكمية سريان التيار على مكان العربات

أو القطارات فإنه ثبت الجدوى العملية نحو إقامة مفاتيح الربط بالمرحل التحكمي (Relay Controlled Bonding Switches) والتي تعمل بطريقة إرباك التيار أو فصله، طبقا لقيمة واتجاه الجهود المتاحة . في تطوير لهذا النظام تستخدم وحدات تعديل التيار كمحابس قفل كهربيه، بما يسمح بتسرب التيار من خط المواسير عندما يكون الجهد في هذا الاتجاه، ولكن يوقف سريان التيار نحو الخط عند إنعكاس الجهد .

الرباط بالمسار السالب (الموصل السالب) : (Negative Bus Area)

في حالة مثل الموضحة في الشكل (٩/١)، يمكن إبعاد حدوث التلف بإقامة وصلة معدنية أو رباط ما بين الماسورة والطرف السالب عند المحطة الفرعية (Substation) . عندما يكون الوضع الهندسي بسيطا كما هو موضح، فإن المساحة ذات أقصى تعرض ستكون مجاورة مباشرة للمحطة الفرعية . في الحالات الأكثر تعقيدا، يلزم عمل مباحث ميدانية لتعيين مكان هذه المساحة .



بعض التيار يتسرب خارج القضبان إلى الأرض ثم على الماسورة (منطقة الكاثود الكبيرة)

يسرى التيار من الماسورة خلال التربة إلى الطرق السالب وهو (مساحة الأنود الصغيرة)

شكل (٩/١) تحلل التيار الشارد . التيار العائد من الترولي ينقسم حيث جزء يعود إلى المحطة خلال القضبان وجزء يتسرب خارج القضبان إلى خط المواسير. قرب المحطة يسرى هذا التيار من خط المواسير خلال التربة إلى القضبان سبب التآكل للماسورة . إنشاء رباط معدنى من الماسورة إلى الوصلة السالبة عند المحطة سيوقف التلف .

إقامة مثل هذه الأربطة يوفر إجراء للحماية الكاثودية للخط . في الشبكة المنتشرة والتي تحتوى على كثير من خطوط المواسير وكثيرا من المسارات ، كما هو

الحال في نظام الغاز للمدينة حيث توجد العربات الكهربية في الشوارع ، فإن كل نظام توزيع الغاز يمكن وضعه تحت الحماية الكاثودية وذلك بإنشاء مثل هذه الأربطة .
ولكن هل هذا يسبب زيادة الإنفاق بالنسبة لشركة عربات الشوارع الكهربية ؟

نظرا لأنها التي توفر الطاقة الكهربية والإجابة من أول وهلة هي بالتأكيد. ولكن باعتبار أن إنشاء الأربطة يقلل المقاومة الكلية لدوائرها المقفلة، حيث يلزم عندئذ طاقة أقل لعمل كمية معينة من الشغل . ولذلك فإنه لا يكلف شركة عربات الشوارع الكهربية بالنسبة للطاقة ، ولكن في زيادة التلف في نظام قضبانها الحديدية . وجود الأربطة يعني أن نسبة عالية من التيار العائد تتسرب من القضبان وتعود من خلال ممر رباط التربة – الماسورة بخلاف الحال عكس ذلك . لذلك فإنه لهذا السبب يتم عمل الجهود أحيانا نحو إقامة أربطة مقاومة والتي تحد من التيار إلى الحد المطلوب لمنع تلف الخط، وذلك بدون توفير حماية كاثودية مقابل تعرضهم العادى للتربة .

المناطق المعرضة : (Exposure Area)

إذا كان تأثير التيار الشارد على الماسورة ثابتا، فإن المساحات ذات أقصى تعرض ممكن تعيين مكانها بسرعة وذلك إما بمباحث تيار الخط والجهد السطحي، وذلك لتعيين المناطق التي فيها يترك التيار الخط . التغيرات تجعل المشكلة معقدة إلى حد ما، حيث يلزم عمل إجراءات خاصة .

أحد هذه الإجراءات هو بتطوير عملية المباحث لتيار الخط، حيث تتم عمليات القياس للتيار في موقعين مختلفين وفي توقيت واحد، حيث توخذ من ٢٠ على ٤٠ قراءة .

القراءات المقابلة لهذين الموقعين يتم توقيعها على مخطط ، كما في الشكل (٣ /٩) إذا كان الخط المستقيم الذي تكون عند زاوية ٤٥ وأنه يمر خلال الأصل (البداية) عندئذ لا يكون هناك فقد أو اكتساب للتيار في هذا المقطع، إذا كان على زاوية غير ٤٥ فإنه يوجد فقد أو اكتساب للتيار بسبب التعرض للتيار الشارد ، إذا لم يحدث أن مر خلال الأصل (البداية) فإنه يكون هناك فقد أو اكتساب ثابت بخلاف التيارات المتغيرة.

أخيرا إذا لم تكن النقط واقعة جيدا قريبا من الخط المستقيم، فإنه يوجد مصدر للتيار الشارد مؤثرا على أحد النقاط وليس على الآخر .

بمجرد اكتمال مجموعة القراءات لزوج واحد من النقاط، يتم تخصيص طاقم لدراسة مقطع آخر. إذا كان هناك أكثر من طاقمين مع توفر مجموعات من الأجهزة يمكن دراسة أكثر من مقطع واحد في نفس الوقت . يمكن أن تتزامن القراءات إما باستخدام معدة إشارة (يمكن استخدام مرسل ومستقبل لمكان الماسورة (Pipe locator Transmitter And Receiver) أو باستخدام ساعات موقوتة . مثل هذه المباحث نادرا ما تغطى أطوال كبيرة من الخط، حيث تكون محدودة للمساحات والتي تبدو أن تكون مناطق محتملة للتعرض من دراسة للخرائط .

الأحمال المساحية (المباحث) للجهد: (Potential Surveys)

رغم أن الدراسة لتيارات الخط كما تم وصفها توفر الشواهد المؤكدة والأكثر إيجابية نحو الفقد والاكتساب الحقيقي للتيار – وأن هذه هي المرتبطة مباشرة بالتآكل، فإن كثيرا من المعلومات يمكن اكتسابها بدراسة جهود التربة – إلى – الماسورة، للماسورة إلى الماسورة، أو المنشأ – إلى – المنشأ وذلك في المساحات التي يتوقع أن تحدث فيها مشاكل . لعمل ذلك بكفاءة فإنه يكون من الضروري قياس عدد من الجهود في وقت واحد، وأن يكون ذلك صحيحا، ذلك لأن الاختلاف لأقل من ثانية والذي يمكن من إخفاء أو تحريف العلاقة وعدم معرفتها .

المؤتمر التقني (T - 4 B) للجمعية العامة لمهندسي التآكل قد وصفت هذه التجهيزه والتي مكنت من سهولة هذا العمل الشاق .

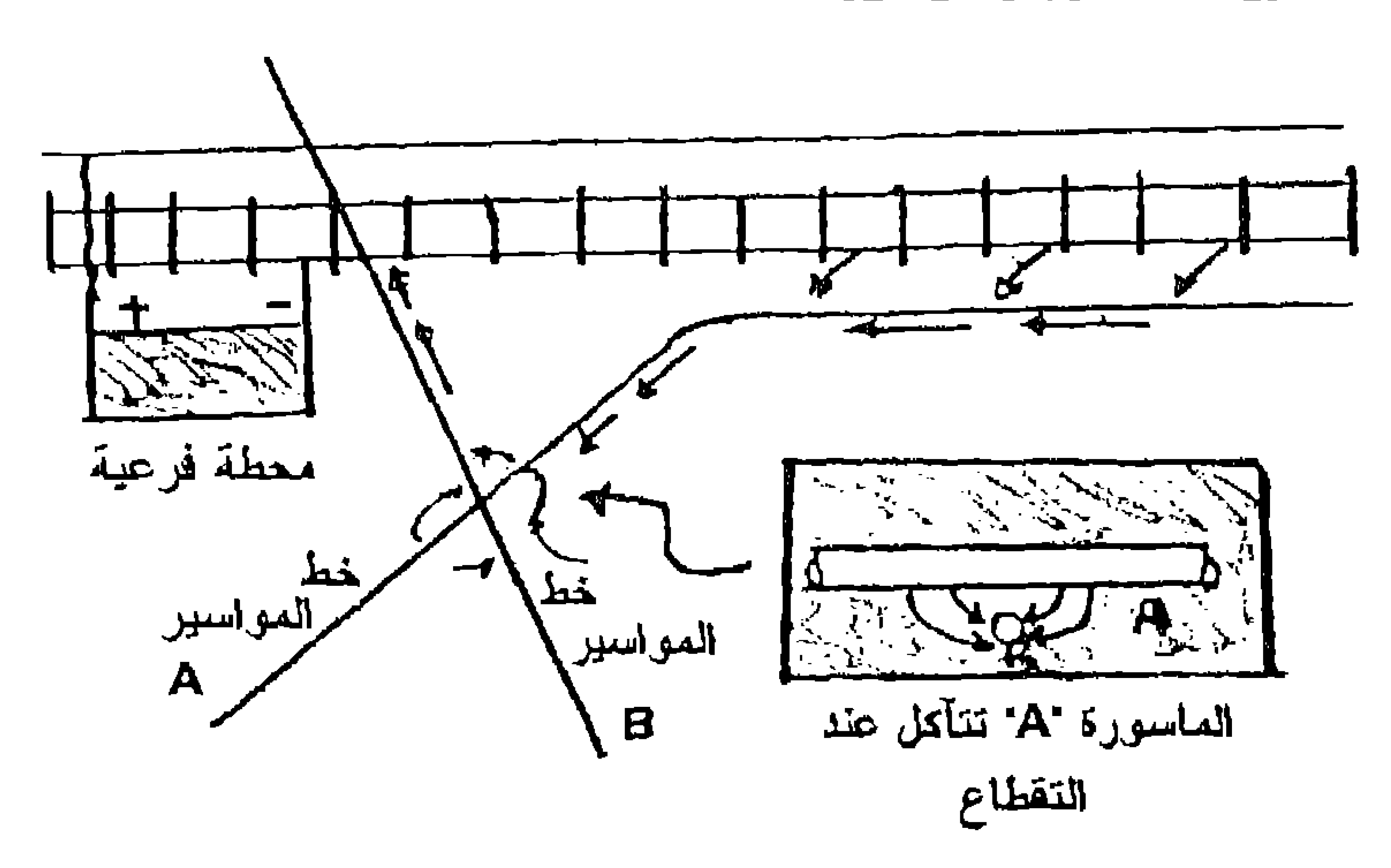
(Corrosion VoL. 13. P 799 t, December, 1957 Also NACE Publications No 57 – 26)

يتم توصيل عدد من المكثفات للأطراف المختلفة والتي يقاس بينها الجهد . عندما يكون المطلوب أخذ عدد من القراءات ، يتم ضغط زر (والذي يمكن عمله كذلك عن بعد) ويتصبح كلا المكثفات غير متصلة في وقت واحد وبذا يتم تجميد جهودها المنفصلة . يتم عند ذلك قراءة هذه في نفس الوقت وذلك باستخدم فولتميتر الأنبوب المفرغ .

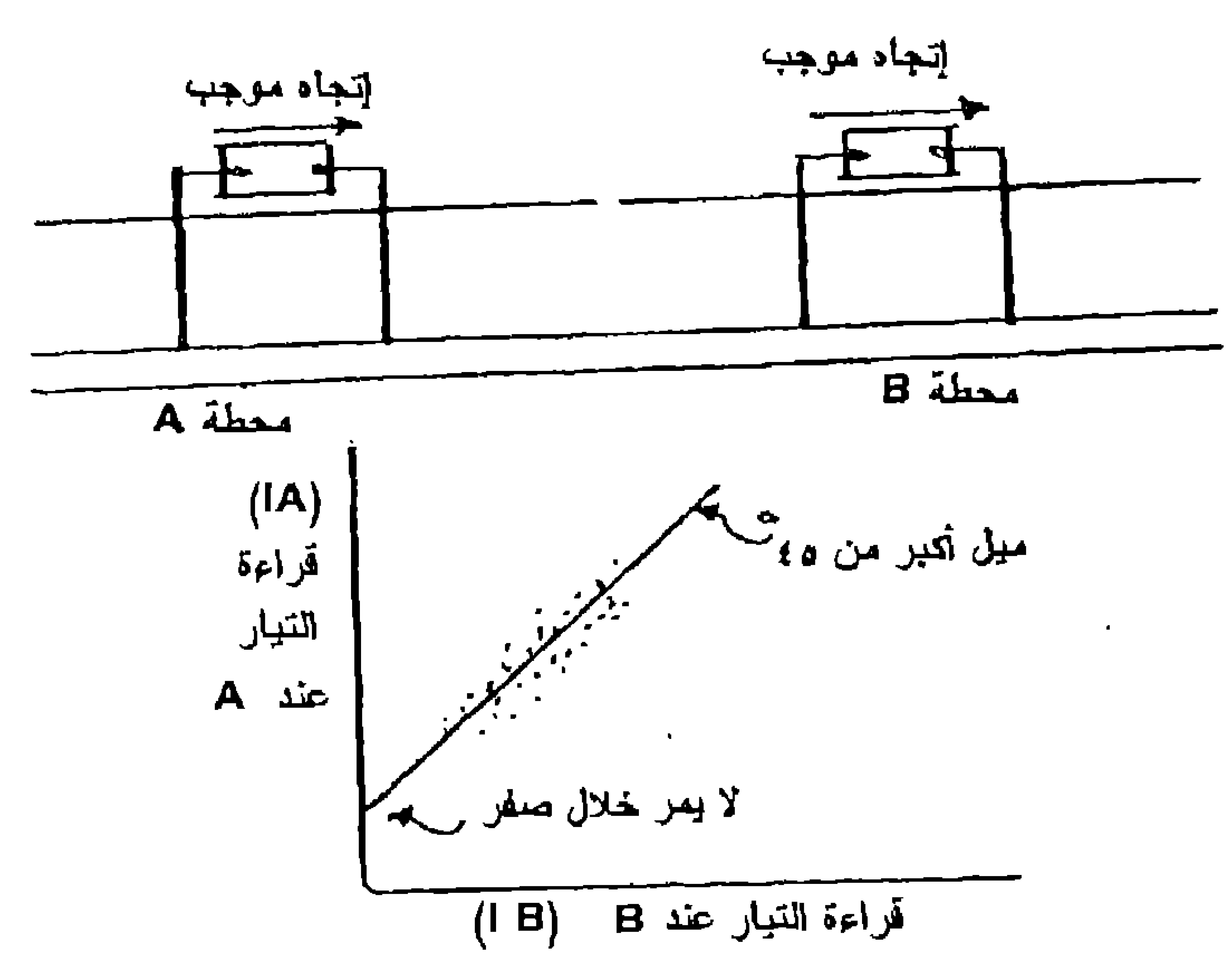
الجهاز الذي تم وصفه في المرجع له ١٩ دائرة ، لكونه مصمم أساسا لبحث تآكل غلاف الكابل، فإنه نادرا ما يكون المطلوب كثيرا في عمل خط المواسير، حيث يمكن وبسرعة إرتجال تطوير بسيط جدا باستخدام مكثفين أو ثلاثة ذات ٤ مليفولت . بهذا العدد الصغير فإن تجهيزات التحكم عن بعد والترحيل (Relays Control) يمكن أن استبدالها ، وحتى المفتاح الدوار يكون غير ضروري، يمكن تحويل المشابك (Clips) من طرف إلى آخر حسب الحاجة. الظاهرة الهامة لكل التجهيزة هي أن المكثفات يجب أن يتم فصلها من جهودها في نفس الوقت .

التعرض الثانوي : (Secondary Exposure)

في الشكل (٩/٢) يوضح موقف حيث تقع مناطق التعرض على مسافة من المسارات . يتسرب التيار من المسارات إلى خط الأنابيب "A" ويسرى أسفله إلى التقاطع ثم يتسرب من "A" إلى "B" إلى قرب المحطة الثانوية أو المسار (Track) . لتجنب التلف يجب إنشاء أربطة عند المكانين، إنشاء أحد الأربطة فقط سوف يزيد من التعرض عند المكان الآخر وذلك يخفض المقاومة لكل ممر العودة . هذا التعرض وآخرين أكثر تعقيدا يمكن إيجادهم فقط بالأعمال المساحية البحثية المتقنة وبكل الحرص ، عادة يتم قفلها بحدوث التسربات . ولكن المباحث السطحية سوف تبين الجهود المتقلبة ، طالما أن ذلك يظل غير مسبب ، فإنه يوجد تعرض في مكان ما على الخط، العمل بحذر سوف يتعقبه ذلك . الجهود المتقلبة أو تيارات الخط يجب عدم تجاهلها إطلاقا . فهي عادة تتحول إلى الخارج لتكون غير ضارة، ولكن أن مصدرها يكون معلوما، فإنها تظل حالة يلزم بحثها . في الخطوط المغطاة جيدا حيث التربة ذات المقاومة عالية يلاحظ عادة تقلبات كبيرة في الجهود والتي يمكن أن تكون مصاحبة بالتيارات الأرضية الطبيعية. وهذه تكون أكثر عنفا خلال الفترات ذات النشاط المغناطيسي ولكن أحيانا قد تستمر لأسابيع . ظاهرا هذه لا تشكل خطورة حيث تختفي بمجرد وضع الخط تحت الحماية الكاثودية . كذلك هذه تسهل عمليات المباحث للتيار حيث أنها تعيق أخذ أى جهود إستاتيكية .



شكل (٩/٢) التعرض المعقد للتيار الشارد النقطة التي عندها يحدث التلف لخط المواسير "A" بعيدة عن خط قضبان الترولي . هذه الحالة يمكن كشفها بواسطة الجهود المتغيرة أو التيارات في خط المواسير (A) وتحديد مكانها بأعمال المساحة لخط المواسير .



شكل (٩/٣) مكان منطقة أكبر تعرض في المخطط الموضح، الميل أكبر ٤٥ لكونه أقرب إلى المحور (IA)، يبين أن محصلة التيار الشارد عند (A) أكبر من تلك عند (B) أكبر من تلك عند (B) ، لذلك يوجد فقد في التيار في المقطع (AB)، التقاطع فوق المحور يبين محصلة ثانية صغيرة عند (A) ، أى يوجد قليل من فقد التيار في المقطع بسبب المصادر وليس للتعرض للتيار الشارد . في حالة عدم قدرة النقط على التعرف على الخط المستقيم فإنه يوجد مصدرين أو أكثر للتيار الشارد موجودين . نفس التقنية يمكن تطبيقها في أعمال مساحية للجهد السطحى .

الفصل العاشر

10

التداخل في الحماية الكاثودية

Inter Ference In Cathodic Protection

التداخل في الحماية الكاثودية

(Interference In Cathodic Protection)

المشكلة :

في الفصل السابق ثم تعريف التيار الشارد بأنه لتيار المتسرب من بعض النظم الكهربية والذي يسرى مصادفة في التربة . إذا كانت هذه قادرة على إحداث التلف، فإنه كذلك التيارات التي تسرى خلال التربة طبقا للخطة وذلك في تطبيقات الحماية الكاثودية . في الحالة الأولى، تكون مشكلة مهندس التآكل هي منع حدوث التلف للمنشآت تحت الأرض المسئول عنها، أما في الثانية، فإنه تكون من واجباته اتخاذ الخطوات لمنع حدوث التلف لكل المنشآت الأخرى بفعل نظم الحماية الكاثودية . يجب عدم افتراض أن سريان التيار محصور كلية في التربة الواقعة بين الآنود والمنشأ المحمي . الشكل (٢/٥) الفصل الثاني يوضح مقطع للمجال المحيط لخط المواسير على مسافة كبيرة من الآنود. يجب ملاحظة أن المجال متماثل أى أنه لا يوجد فرق مرئي أو مقاس في كمية التيار التي تصل إلى الجانب حيث يوضع الآنود وذلك الذي يصل من الجانب الآخر .

يمكن كشف تسرب التيار على سطح الأرض، وذلك باستخدام قطبين وجهاز قياس فرق الجهد بالمقاومة المتغيرة (Potentiometer) ، على مسافة عدة مئات من الأقدام على جانبي الخط المحمي، وعلى أى مسافة من الآنود . يمكن كذلك كشفه على مسافة عدة آلاف من الأقدام في أى اتجاه من الآنود . لا يوجد حدود محددة للمجال، بالأجهزة الأكثر حساسية يمكن أن تمتد المسافات أبعد من ذلك . حيثما وجد تسرب التيار في الأرض بين أى مصدر، فإن قطعة المعدن المدفونة في هذه التربة تعمل كجزء من ممر التيار، حيث تجمع التيار فوق جزء من سطحها وصرفه مع حدوث التآكل من جزء آخر . كمية التيار التي تلتقط وتصرف تعتمد على عدة عوامل:
طبقة التغطية في حالة وجودها، طول المنشأ في اتجاه سريان التيار، التدرج في الجهد أو كثافة التيار عند نقطة التعرض وقدرة المنشأ على حمل التيار . خطوط الأنابيب

الغير مغطاه الموضوعة في اتجاه سريان التيار وملاصقة لطبقة الآنود (حيث تكون كثافة التيار والتدرج في الجهد الكبير) تكون في حالة تعرض خطيرة؛ الخط المغطى جيدا والبعيد عن طبقة الآنود ويجتاز مجال التيار بزاوية يكون أقل عرضة للخطورة.

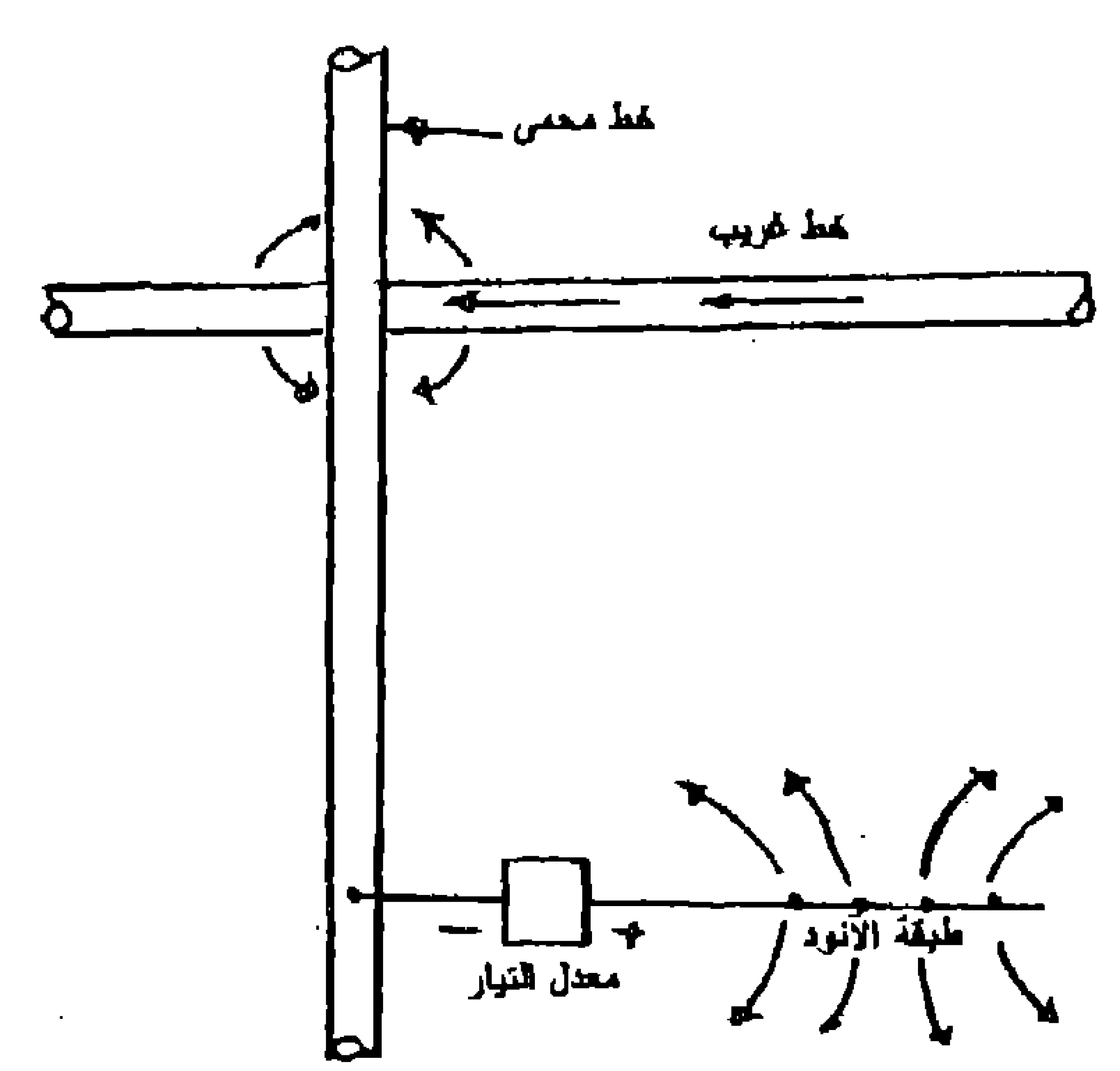
مشكلة التداخل الكاثودى أبسط كثيرا عن تلك للتيار الشارد. التداخل يكون عموما ثابتا وليس متغيرا ولذا يمكن عمل قياسات وضبط أكثر دقة . مصدر التيار يكون تحت السيطرة، معدل التيار يمكن فتحه وقفله عند الحاجة كما يمكن استخدام القاطع بما يمكن من التعرف بوضوح والدراسة لتأثيرات الوحدة . في أسوأ الحالات يمكن أن يكون التعرض شديدا ذلك بسبب حجم التيار المستخدم ، كل عودة التيار يكون بممر التربة ، وذلك بدلا من مجرد ذلك الجزء التي يحدث الصرف، كما في حالة التيارات الشاردة .

الحلول الأساسية: (Basic solutions)

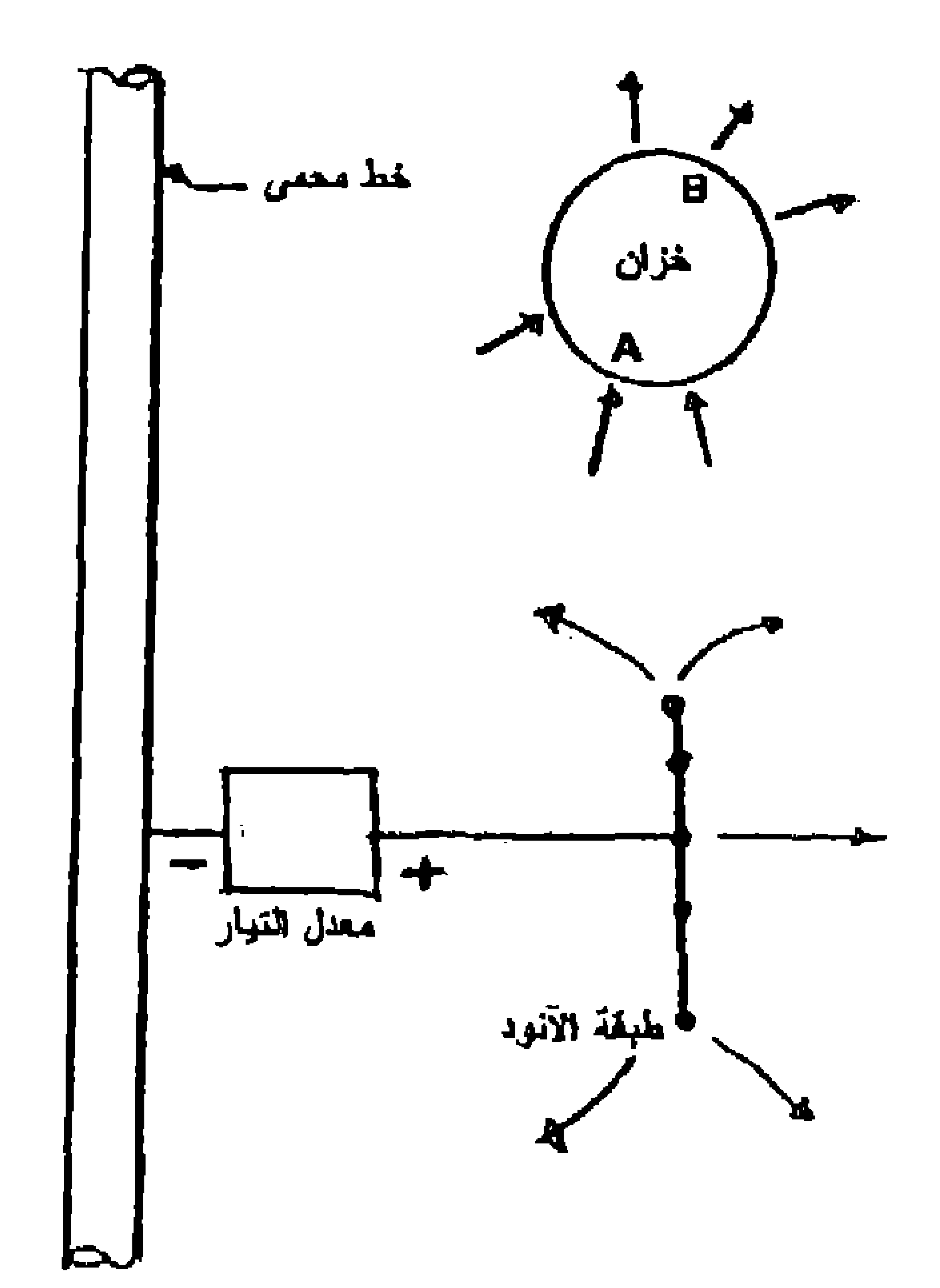
يوجد ثلاث طرق للتعامل مع المشكلة وهي التصميم والذي يقلل من التعرض إلى أقل حد ممكن، الربط لتوفير مسار عودة معدني للتيار المتجمع بالخط الغريب، صرف إضافي للتيار المتجمع .

التصميم : Design

كثافة التيار في التربة تكون كبيرة جدا قريبا من الآنود عن أي مكان آخر وبالتالي فإن هذه تكون هي المنطقة ذات أكبر عرضه للخطر . يجب بذل كل الجهد في اختيار مواقع لإنشاء معدلات التيار(Reetifiers) والتى تكون بعيدة عن الخطوط الغريبة . الشكل (١٠/١) يوضح مسار التيار في حالة عبور خط غريب والذي يمر قرب طبقة الآنود الموقف مشابه تماما ولكن أقل حدة عندما يكون خط العبور بعيدا . الشكل (١٠/٢) يوضح حالة تداخل والتي تكون حادة فقط في حالة قرب الطبقة الأرضية للآنود. معظم عوامل التصميم والتي سوف تقلل مثل هذا التلف هي تلك التي تحافظ على أن تكون طبقات الآنود بعيدة ما أمكن عن المنشأ الغريب كلما أمكن ذلك .



شكل (١٠/١) التداخل: بعض التيار السارى من الآنود نحو الخط المحمى يتجمع على الخط الغريب، يتدفق على طوله في اتجاه التقاطع (من الجانبين) ثم يصرف خلال التربة إلى الخط المحمي . يحدث التلف على الخط القريب بجوار التقطاع .



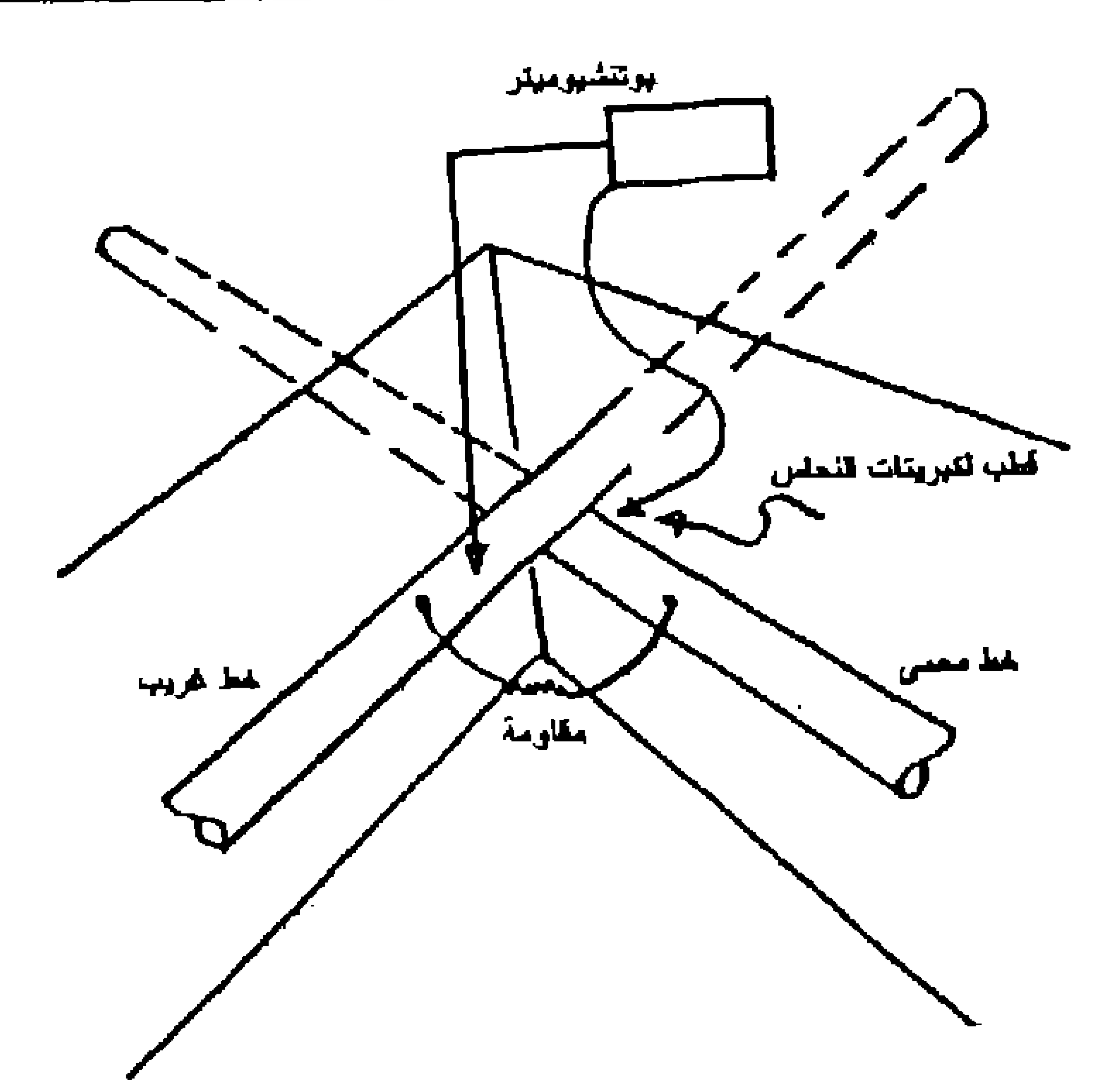
شكل (١٠/٢) التداخل (السريان المحيطى للتيار) .

عند وجود منشأ في منطقة كثافة تيار عالية، كما في حالة الخزان القريب من طبقة الآنود ، فإنه يمكن أن يلتقط تيار عند (A) ثم يصرفه إلى الأرض عند (B) ، حيث تكون النتيجة تلف منطقة الصرف . أحيانا وليس دائما المنشأ المعدنى القريب من الخط المحمى يمكن أن يحدث له نفس نوع التلف .

أربطة التقاطع : (Crossing Bonds) .

في موقف مثل ذلك الموضح في الشكل (١٠/١) فإن العلاج يكون يعمل وصله معدنية أو رباط بين المنشأين، عند أو قريبا من نقطة التقاطع . أحيانا يستخدم رباط مصمت (Solid) ، أى ذلك بدون مقاومة . هذا عادة ينتج عنه توفير إجراء كبير للحماية الكاثودية للخط الغريب، وإذا كان غير مغطى أو أن طبقة التغطية تكون أضعف عن الخط المحمي، فإنه يمكن أن يستقبل نصيب كبير من التيار . من الواضح أن العمل المناسب هو بصرف تيار كافي وذلك عبر التقاطع لمنع حدوث أى تلف للخط الغريب، ولعمل ذلك يتطلب استخدام مقاومة في الرباط .

الطريقة المباشرة لإنشاء وضبط مثل ذلك الرباط موضحة في الشكل (١٠/٣). حيث يوضع قطب النحاس/ كبريتات النحاس في التربة بين الخطين عند نقطة التقاطع. هذا سوف يتطلب الحفر معرضا حائط عمودى من التربة حيث يكون الخطين مجموعة مقفلة (Closest)، أحيانا يمكن وضع قطب طويل في حفرة (Rodded Hole) مستديرة . يتم عمل الوصلة للخطين ويتم ضبط المقاومة بحيث لا يكون هناك أى تغير في الجهد للخط الغريب بالنسبة للقطب وذلك عند قفل أو فتح جهاز تعديل التيار. كما أنه يمكن أن تساعد عملية قياس تيار القفل (Short - Circuit) بين الخطين أولا، باستخدام دائرة مقياس صفر المقاومة الموضح في الشكل (١٠/٥) (The Zero Resistant Ammeter)، من هذا يمكن اكتساب فكرة عن حجم الموصل المطلوب للربط . وصلات المواسير عادة يتم عملها بطريقة الثير ميت (Thermite Process)، يستخدم عادة لمادة سبيكة (Chromel or Nichrome) سلك المقاوم، الوصلات يتم لحامها بالمليء بالفضة (Soldered) . يكون من السهل كثيرا تحديد طول سلك المقاوم المطلوب بطريقة الخطأ والصواب عنه بالحاسبات .



شكل (١٠/٣) ضبط رباط التقاطع: يوضع قطب كبريتات النحاس بين الخطين عند نقطة التقاطع . يتم ضبط المقاومة (بطريقة الخطأ والصواب) لحين عدم وجود تغير في جهد الخط الغريب بالنسبة للقطب وذلك عند فتح وقفل معدل التيار .

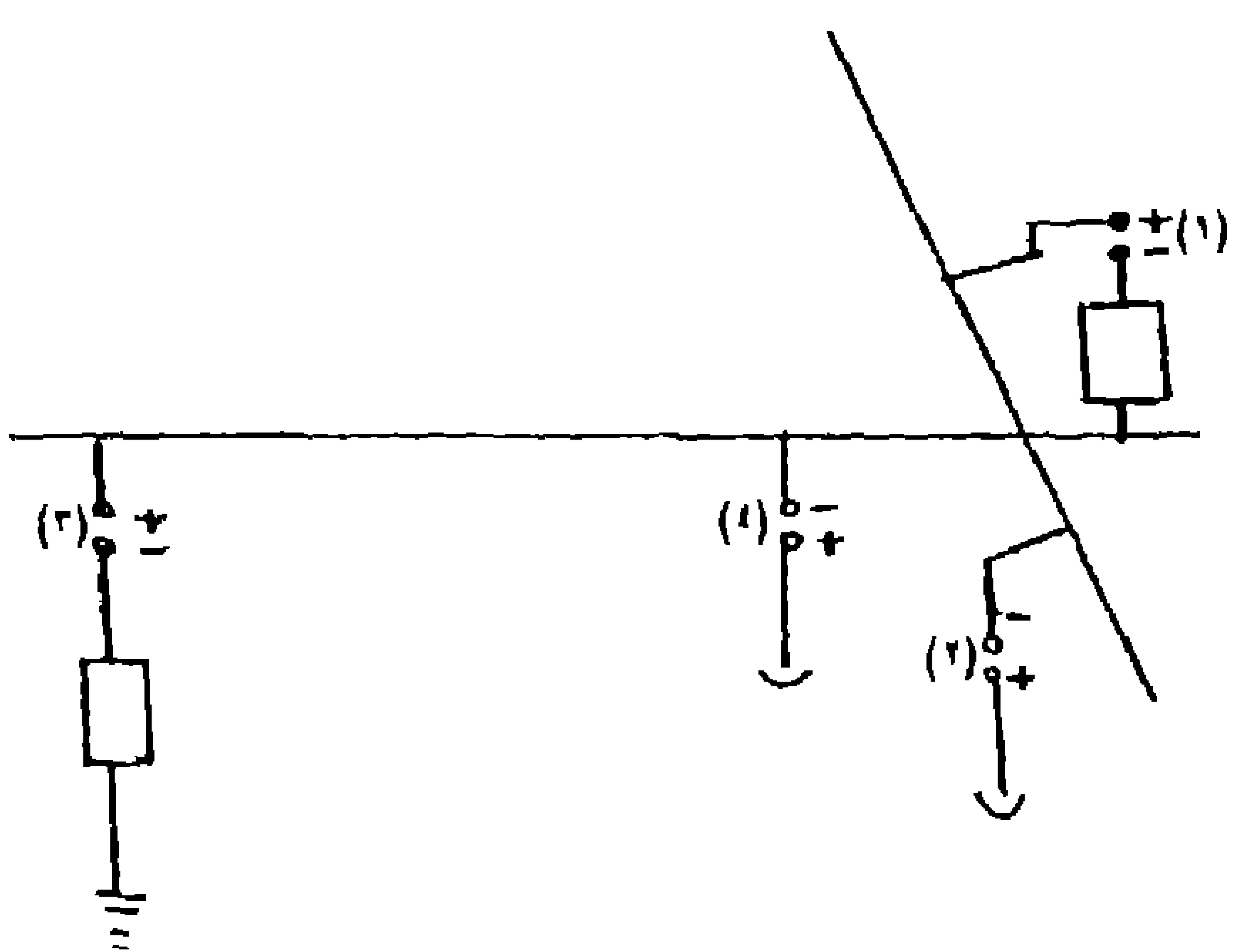
حساب مقاومة الرباط: **(Calculation Of Bond Resistance)**

بدلا من التعامل المباشر الذي يتم وصفه ، فإنه توجد طريقة جيدة تمكن من حساب قيمة تداخل الرباط . الطريقة المستخدمة هي تلك لتحديد ثوابت الدائرة (Circuit Constants) الدائرة المعقدة يمكن تحويلها إلى دائرة بسيطة مكافئة والتى سوف تضاعف من سلوك خطين المواسير عند النقطة المطلوبة، وبذا يمكن استخدامها لحل المشكلة الموجودة . الطريقة سيتم توضيحها أولا باعتبارأنها أبسط حالة ممكنة .

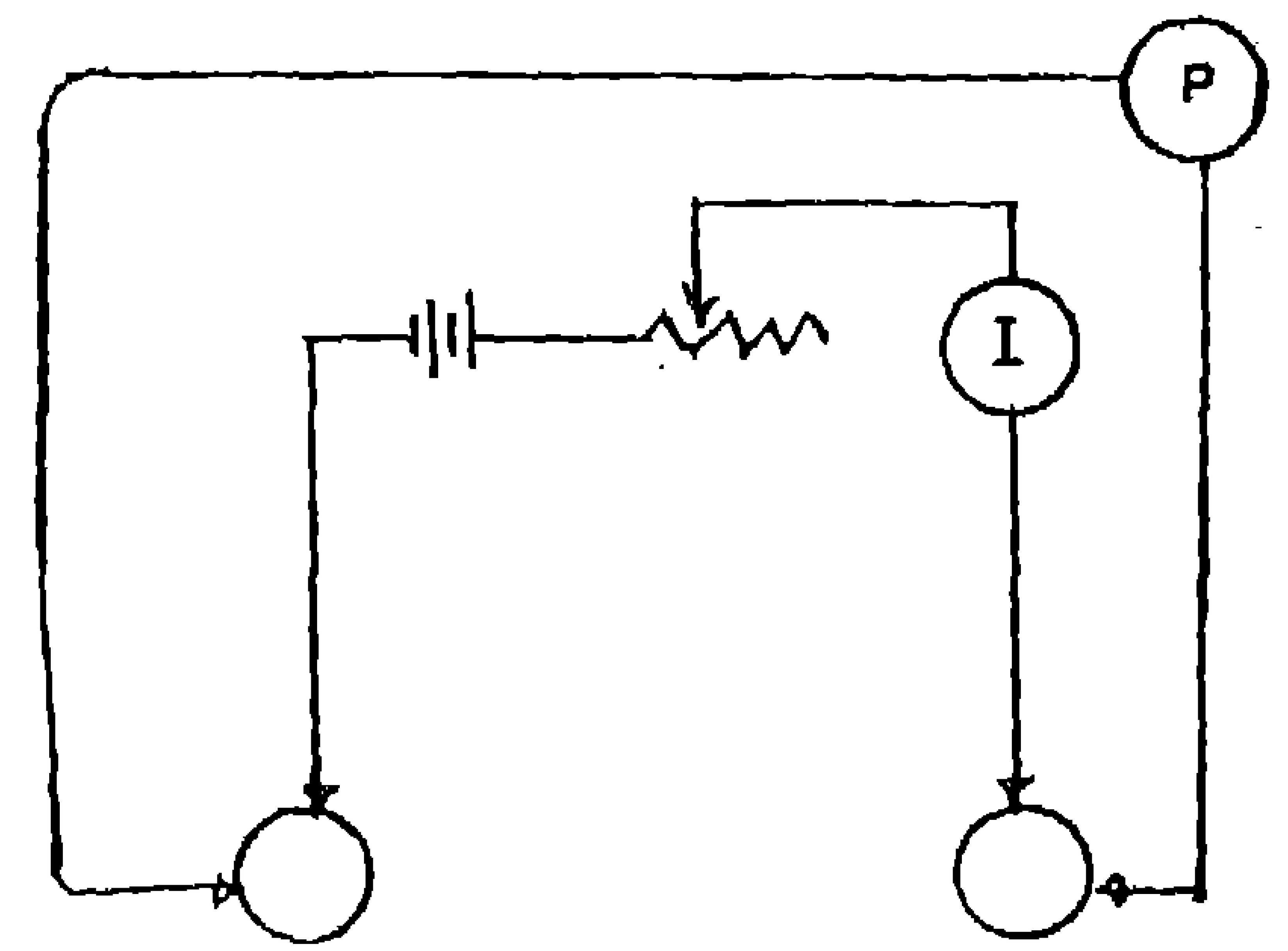
بفرض أنه يوجد مقطع الخط تحت الحماية بواسطة جهاز تعديل التردد المنفرد (أو تحت الاختبار من نقطة صرف واحدة) . بفرض أن هذا الخط يتم تقاطعه (Crossed) بخط آخر غريب، خارج مجال الآنود . لذا، فإنه للحصول على أبسط حالة ممكنة يمكن تصويرها، بفرض أنه لا يوجد فرق جهد بين الخطين عند نقطة التقاطع، في عدم وجود الحماية الكاثودية .

الخطوة الأولى هي بضبط جهاز تعديل التيار إلى قيمة التي توفر الحماية المناسبة للخط . ثم مع إعاقة تيار جهاز تعديل التيار (Rectifier) يتم عمل مساحة (مباحث) على طول الخط الغريب قريبا من التقاطع ، حتى الوصول إلى النقطة التي عندها جهد الماسورة – التربة للخط الغريب يكون عندها أقصى أسوأ تأثير. طبيعي، أن تكون هذه عند أو قريبة جدا من التقاطع . يتم تعليم النقطة بحرص ويعطى لها

الرقم (٢) في الشكل (١٠/٤) . (المكان يشير إلى المكان المحدد للقطب، الالتصاق الحقيقي للماسورة يمكن عمله عند أى نقطة مناسبة قريبة في حالة كون الماسورة مستمرة) . النقطة (١) هي سلكين نهايات أو اختبار متصلين بالخطين عند أو قريبا من التقاطع؛ يوجد أسلاك توصيل (Leads) التي يمكن بها عمل الرباط عند الحاجة . النقطة (٤) هي مكان للقطب (Electrode) فوق الخط المحمي، موقعها الحقيقي سيتم وصفه فيما بعد . أخيرا النقطة (٣) تمثل نهايات جهاز (الأميتر) الذي أدخل في دائرة جهاز تعديل التيار، وذلك بغرض قياس خرج التيار للدائرة .



شكل (١٠/٤) مخطط لتعيين القيمة الصحيحة لمقاومة الرباط وتيار معدل التيار لإبعاد تداخل التقطاع



شكل (١٠/٥) مقياس المقاومة صفر . لتعيين التيار الذي يسرى خلال "المصمت – (Solid)" أو رباط المقاومة صفر يبن منشأين . فإنه تستخدم الدائرة الموضحة . التيار من البطارية يتم ضبطه لحين البوتنشيومتر (أو الفولتميتر عالى المقاومة) يقرأ صفر . عندئذ فإن التيار الموضح بواسطة مقياس التيار (I) هو الصوت للقيمة .

دائما، عند عمل اختبارات التداخل من هذا النوع، يتم إعداد مخطط (Sketch) كما في الشكل (٣/١٠) موضحا أين تؤخذ كل القراءات، الاستقطاب المتوقع يتم إظهاره بعلامات + أو – الموضحة عند كل زوج مرقمين من النهايات .ثم، عند ما يكون الاختبار مستمر، إذا كانت القراءة المقابلة للاستقطاب الموضح يتم تسجيله بالموجب + ، إذا كان عكس ذلك يتم تسجيله بالسالب – .

يتم عمل الاختبار كالآتي :

تيار محول التيار (Rectifier Current) أو التيار المؤقت يتم اعتراضه ويتم تعيين القيم V_2 و V_1 لكلا الحالتين (الفتح والقفل) . V_2 هو الجهد عبر النهايات (2) أى جهد الخط الغريب P/S ، V_1 الجهد عبر النهايات (١) أو فرق الجهد بين الخطين. من هذه القراءات يتم تعيين ΔV_1 ، ΔV_2 ، ΔV هو التغير في V عند إيقاف التيار، أو الفرق ما بين الفتح ، القفل (On and Off) . هذين الاثنين يعطوا أو ثابت للدائرة .

$$B_{21} = \Delta V_2 / \Delta V_1$$

وهذا ما يعرف ازدواج جهد الأرض . لاحظ أن هذه النسبة بين الجهدين ولذا ليس لها وحدات، هي مجرد تبين كيف أن جهد الخط الغريب يستجيب لتغيرات الجهد على الخط المحمي . نفس القيمة يتم الحصول عليها لهذا الثابت لأي لتيار معدل التيار، خلال مجال مناسب، ذلك مناسب فقط وليس ضروري لاستخدام القيمة التي سوف تحقق الحماية للخط فقط .

الخطوة التالية هي بفتح الدائرة المعدل للتيار، ذلك لإزالة تأثيرها كلية وإنشاء مصدر للتيار عند الأطراف (١) . سوف يمكن تنفيذ ذلك باستخدام بطارية شحن أو حتى بطارية جافة واحدة في كثير من الحالات . هذا يمكن من نقل التيار من خط إلى آخر ، كما سيتم بعد ذلك عمل الفتح (On) بالرباط، وتعيين تأثيرات تيار الرباط . يتم قياس التيار المعترض (Interrupted) والجهد عبر النهايات (١) ما بين الخطين ؛ القراءات يتم كذلك عملها للجهد P/S للخط الغريب عند النهايات (2) . هذه القراءتين الأخيرتين تسمى ΔV_1 ، ΔV_2 بالتتالي ، ولكن تلك ليست نفس القيم التي استخدمت

من قبل ، فهي مجرد أن يحدث أخذها عند نفس النقط . من هذه الثلاث مجموعات من القراءات فإننا نحصل على ثابتين أو أكثر للدائرة .

$$R_{21} = \Delta V_2 \;/\; \Delta I_2 \qquad \text{And}$$

$$R_{11} = \Delta V_1 \;/\; \Delta I_1$$

الثاني لهؤلاء R_{11} يمكن معرفته كالمقاومة المزدوجة ما بين الخطين R_{21} نظرا لأنها نسبة الجهد إلى التيار، وأن لها وحدات المقاومة كذلك، ولكنها لا تقابل لأي مقاومة موجودة حقيقية فإنها تسمى المقاومة الانتقالية. I_1 ، عند الفتح لجهاز الاعتراض تساوي صفر، لذلك فإن قيم ΔI_1 هي مجرد قيمة التيار المستخدم.

من هذه الثلاث ثوابت للدائرة فإنه يمكن عندئذ حساب قيمة التيار لمقاومة الرابط.

$$RB = \frac{R_{21}}{B_{21}} - R_{11} \qquad \text{معادلة (١٠/١)}$$

حيث أن قيمة تيار معدل التيار لم تظهر في هذه المعادلة، فإنه سيبدو أن مقاومة الرابط ليس ليها علاقة بتيار الصرف. وهذه هي الحالة الحقيقية، ولكن في حالة مبسطة فقط حيث يكون كلا جهدى الخط متساويين . عندما كما هو دائما الحال، أن هذه الجهود مختلفة، فإن مقاومة الرابط يعبر عنها بالآتي:

$$RB = \frac{R_{21}\,(E_1 \Delta V_1)}{B21 \;\; \Delta V_1} - R_{11} \qquad \text{معادلة (١٠/٢)}$$

حيث :

E_1 هي الجهد الطبيعي ما بين الخطين

ΔV_1 هي التغير في الجهد عند النهايات (١) بسبب الاضطراب عند جهاز تعديل التيار للتيار الخاص بجهاز تعديل التيار .

حقيقة أن مقاومة الرباط تتوقف على تيار جهاز تعديل التيار تمثل الآن مشكله. حيث، إذا تم ضبط جهاز تعديل التيار بما يمكن من مجرد حماية الخط، ثم عندئذ إقامة الرباط، سنجد أن الخط غير محمى ذلك لأن الرباط يأخذ جزء من التيار.

إذا ، تم زيادة التيار إلى حيث تم حماية الخط، فإنه سيكون من الضروري خفض مقاومة الرباط، وسيتم فقد الحماية للمرة الثانية . هذا يؤدي إلى تتبع لا نهائي للنظام المتوازن، رغم أن التقريب يصبح قريبا مع كل تغير فإن أى عمليات ضبط من ثلاث أو أربع مرات ستكون عادة كافية .

ولكن توجد طريقة أسهل حيث يتم علم كل شيء مرة واحدة أولا، يتم ضبط جهاز تعديل التيار إلى القيمة التي تكون قريبة إلى حد ما إلى الحماية الكلية، القيمة المضبوطة ليست هامة، ولكن يجب ألا تختلف كثيرا . يتم عمل المباحث لتعيين النقطة ذات أقصى تداخل؛ وهذه هي النقطة (2) في الشكل (١٠/٤) . ثم يتم توصيل مصدر التيار بين الخطين مع عمل مباحث مشابهة على طول الخط المحمي، محددا مكان النقطة (4) . التيار المستخدم في هذه المباحث يجب أن يكون التقريب لتيار الرباط المستخدم أخيرا .نظرا لأن ذلك من المستحيل معرفته مسبقا ، فإنه يجب التخمين . في حالة أن التخمينات اتجهت نحو الخطأ بمعامل كبير جدا فإنه يكون من الضروري تكرار الاختبار . النقطة (1) كما سبق، الرباط بين الخطين، النقطة (3) هي الصرف لجهاز تعديل التيار .

مع توصيل وقطع تيار معدل التيار يتم تعيين الثوابت الآتية للشبكة:

R_{43} , R_{23} , R_{13} . مع قطع وتوصيل تيار الرباط فإنه يوجد الآتي:

R_{21} , R_{41} , R_{21} , R_{11} .

يتم قياس E_1 (يفضل أولا، لتجنب الأخطاء بسبب الاستقطاب بفعل تيارات الاختبار) .

من ثوابت الدائرة هذه يمكن حساب القيم الآتية:

$$I'_3 = I_3 \frac{R_{43}\ R_{21}}{R_{43}\ R_{21} - R_{23}\ R_{41}}$$ معادلة (١٠/٣)

$$R_B = \frac{(R_{13}\ I'_3 + E_1)\ R_{21}}{R_{23}\ I'_3}$$ معادلة (١٠/٤)

I_3 هي قيمة تيار معدل التيار وجد أنها مناسبة بدون أى تيار للرباط .

I_S' هي القيمة التي ستكون ضرورية بغرض الإمداد للرابط .

R_B هي المقاومة للرابط والذي سوف يبعد التداخل وذلك عند عمل الضبط النهائي للتيار I_3' .

في كل هذه المناقشات، إذا تم عمل قيمة مقاومة الرابط أقل من القيمة المحسوبة، فإنه سوف يكون هناك بعضاً من الحماية الكاثودية للخط الغريب قرب التقاطع، إذا تم عملها أكثر فإن التداخل سوف لا يمكن إبعاده تماماً . الاختبار النهائي، بعد تمام كل عمليات الضبط والإنشاء هي الآتي:

يتم أخذ جهد P/S للخط الغريب عند نقطة أقصى تداخل ، مع تشغيل جهاز معدل التيار والرابط في مكانه، ثم في توقيت واحد يتم فتح دائرة جهاز معدل التيار والرابط . جهد الخط الغريب سوف لا يتغير وذلك في حالة أن الضبط متقن .

الأربطة المتعددة : (Multiple Bonds)

المعادلات المشابهة لتلك المعطاه والتي تم استنتاجها للضبط في توقيت واحد للرابطين أو أكثر مع خطوط مختلفة غريبة، ولتصحيح خرج جهاز تعديل التيار للتعويض، ولكن ذلك يكون معقداً ومرهقاً في الاستخدام .

الطريقة الآتية بسيطة وكذلك أكثر دقة :

١- يتم ضبط معدل التيار لمجرد إعطاء تيار الحماية للخط بدون أى أربطة مقامة . مع اضطراب (توصيل وفصل) هنا التيار، يتم تعيين أماكن النقط ذات أقصى تداخل لكل خطوط التقاطع (فرق الجهد بين الخطوط يتم تعيينه قبل بدء تيار معدل التيار) .

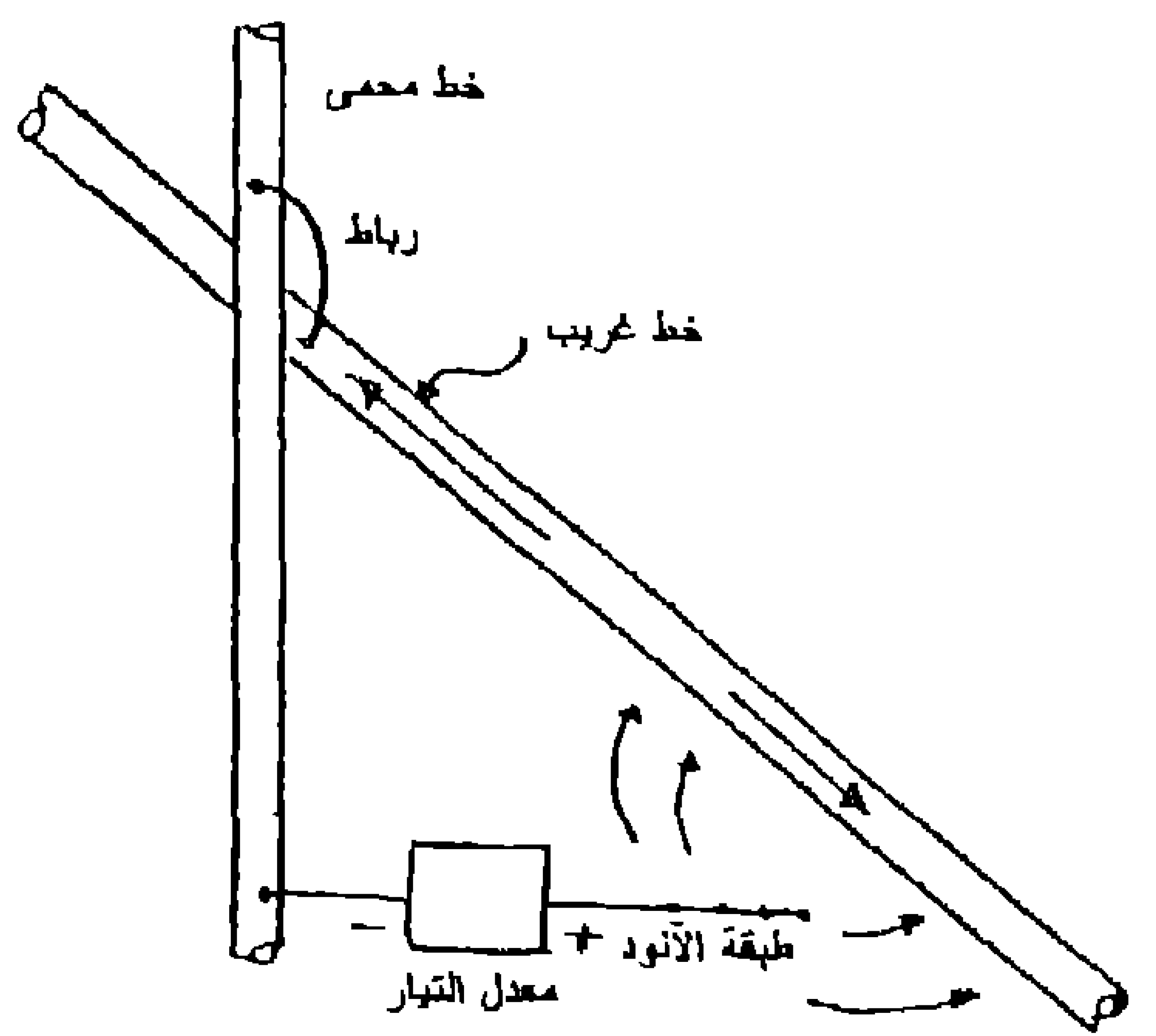
٢- يتم التأثير بتيار عبر مكان الرباط، يتم تعيين مكان النقطة ذات أقصى تأثير للربط، وعمل القياسات المطلوبة لضبط الرباط، تماماً كما في حالة الرباط الوحيد سابقاً . فإن ذلك سوف يعطي قيمة لـــ I'_3 والتي منها يمكن رؤية كمية معينه للتيار الإضافي المعدل التيار والتي تكون مطلوبة للرابط الأول .

٣- كرر هذه الخطوة لكل من الأربطة الأخرى، مع المحافظة على معدل التيار عند قيمته الأصلية – كل من هذه سيعطى قيمة التيار المضاف المطلوب .

٤- يتم إضافة كل من المطالب الزائدة ، ثم يضاف هذا المجموع إلى تيار معدل التيار الأساسي . هذا سوف يعطي القيمة النهائية المطلوبة، وعند الاستخدام مثل I'_3 في المعادلة (١٠/٤) ، سوف يعطى قيمة المقاومة لكل رباط . عند تمام ذلك، يتم عمل مباحث كلية لمعرفة أن الخط تم حمايته حقيقة وبالشكل المناسب . في حالة خلاف ذلك، فإنه يجب زيادة التيار والذي قد يتطلب عمليات ضبط إضافية للأربطة؛ وهذه سوف تكون قليلة .

الصرف المساعد أو الإضافي : (Auxiliary Drainage)

في كثير من الحالات كما هو موضح في الشكل (١٠/٦) تكون نقطة التعرض على الخط الغريب لا يكون مكانها عند نقطة التقاطع (نفس الحال ينطبق كما في الشكل ١٠/٢) . في هذه الحالات، عادة يكون الحل المفضل هو إنشاء آنود وآنودين من المغنسيوم عند نقطة التعرض، وبذا يتم توفير حماية كاثودية كافية أو صرف إضافي للمنشأ المتأثر ولتجنب التلف بواسط النظام الدافع، وبذلك يتوفر ممر إلى الأرض للتيار المتجمع والذي يمكن أخذه بدون إحداث تلف للمنشأ – التلف يحدث عندئذ للمغنسيوم . هذه التقنية نفسها يمكن استخدامها في حالات التقاطع البسيطة، بدلا من الرباط الذي سبق وصفه؛ التيار المتجمع بدلا من تتبع الرباط للخلف إلى الخط المحمي ، فإنه يسرى نحو الأرض عن طريق آنودات المغنسيوم .



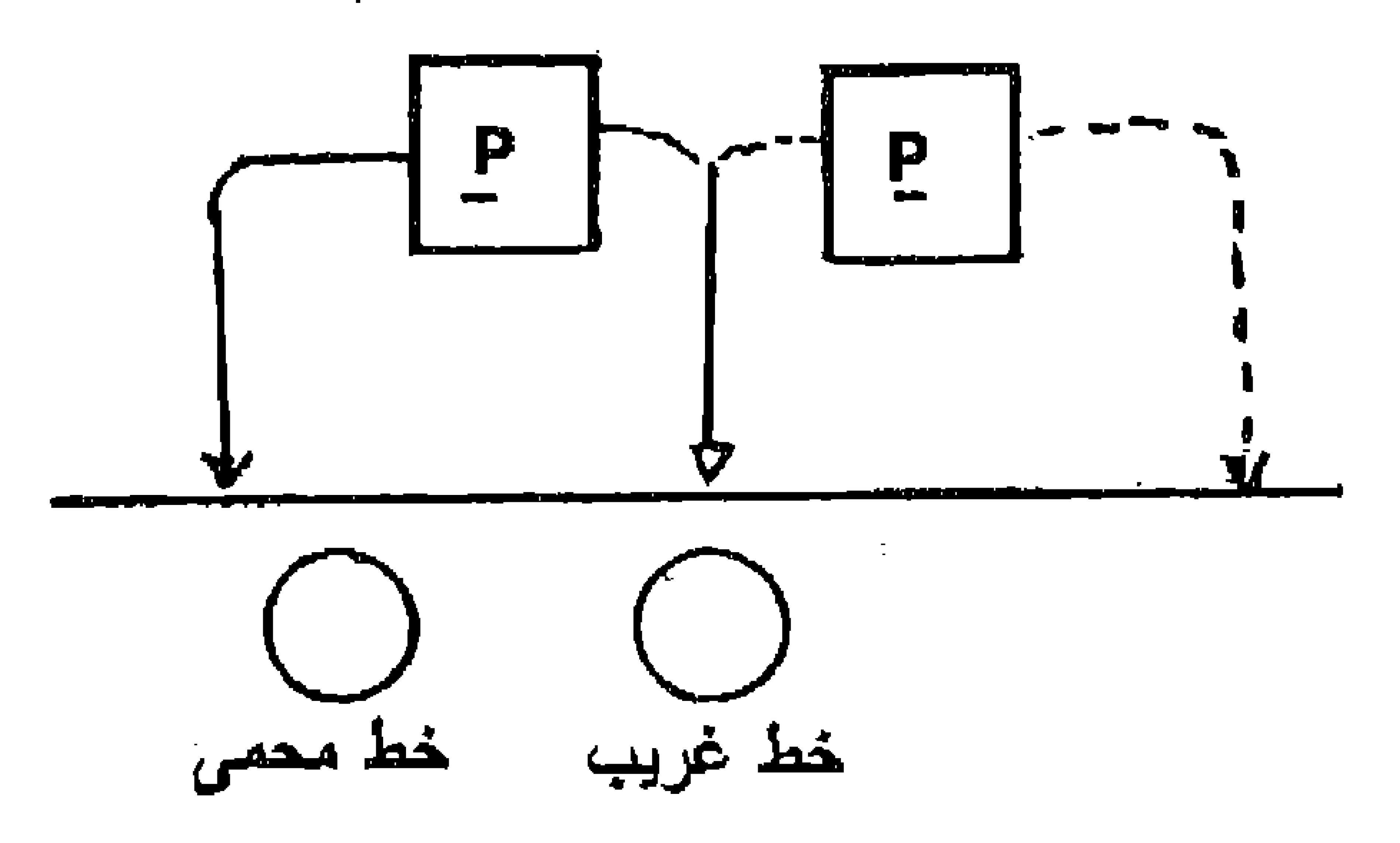
شكل (١٠/٦) حالة قائمة : كثير من التيار المتجمع على الخط الغريب يسرى في اتجاه التقاطع، حيث يمكن التداخل الآمن برباط بسيط . بعض منه رغم هذا يسرى في الاتجاه المضاد ويصرف على مساحة كبيرة نسبيا وبعيدة ، مثل هذا الموقف لا يحدث عادة، ويحتمل حدوث قليل من التلف في أى حالة بسبب مساحة الصرف الكبيرة. يمكن تجنبه بالوضع المناسب لطبقة الآنود، والعلاج باستخدام آنودات صرف إضافية.

الخطوط المتوازية: (Parallel Lines)

عند استخدام الحماية الكاثودية لخط المواسير والذي يسير في نفس اتجاه خط أنابيب آخر غير محمي، فإنه توجد فرصة للخط الغريب لجمع التيار في بعض المساحات وصرفه خلال الأرض إلى الخط المحمي في مساحات أخرى . تعيين المكان الذي يحدث منه هذا الصرف يمكن عمله بسهولة جدا بتطوير مباحث جهد السطح الذي سبق مناقشته . في الوضع الحالي، يستخدم قطبين، حيث يتم واحد فوق كل خطن للقراءة الأولى، وواحد فوق الخط الغريب والآخر على مسافة تساوى مسافة الفاصل بين الاثنين للقراءة الثانية، كما هو موضح في الشكل (١٠/٧) .

القراءات التي تؤخذ في كلا الوضعين باستخدام وحدة الفتح والقفل (On , Off)، والاختلافات المستخدمة. بهذه الطريقة يمكن تعيين ما إذا كان هناك سريان للتيار من الخط الغريب إلى الخط المحمي، وذلك بالتمييز من واقع سريان التيار خلال الخط الغريب إلى الخط المحمي . عند تعيين مكان المساحات حيث أن يكون سريان التيار غير مطلوب ، يتم إنشاء أربطة بين الخطين عند النقط حيث تكون الحالات هي الأكثر

سوءا . اختبارات أخرى يلزم الحاجة إليها لمعرفة ما إذا كانت الأرضية مناسبة؛ ذلك لأنه ليس من الممكن التحديد مقدما ما إذا كان الرباط المعطى سيأخذ كل التيار المنصرف على المقطع، أو أنه سيكون المطلوب استخدام العديد .



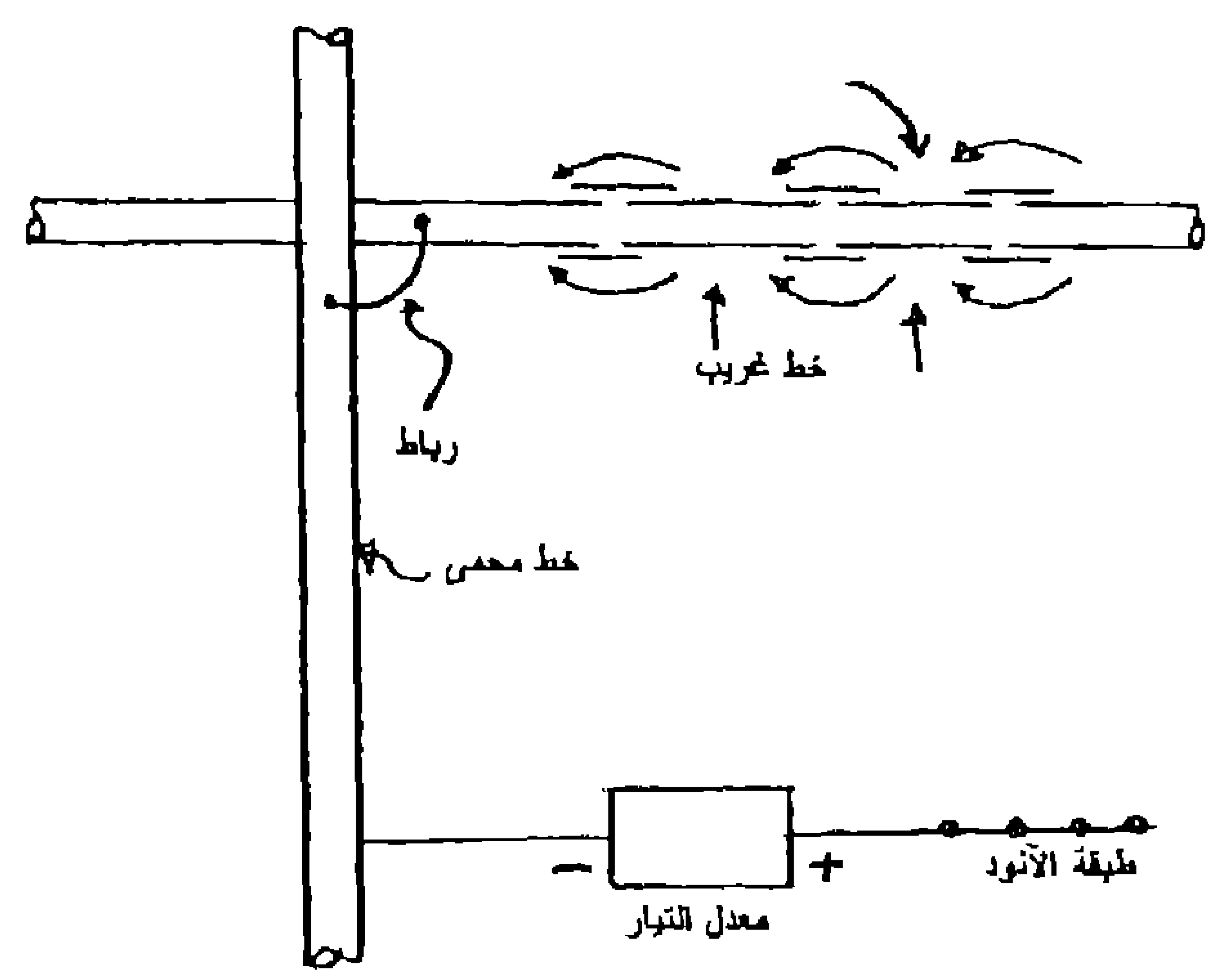
شكل (١٠/٧) انتقال التيار بين خطين متوازيين . إذا كان الفرق بين قراءة الفتح والقفل في الوضع الموضح بالخطوط المستمرة أكبر قليلا عن ذلك في وضع المهشر، عند تعيين مكان نقطة أسوأ تعرض، يتم إدخال رباط عندئذ يتم عمل مساحة مكررة لتعيين طول المقطع الذي سيحميه الرباط، وتوصيل أربطة أخرى عند اللزوم .

تداخل السريان القطري: (Radial Flow Inter Ference)

ما هو موضح في الشكل (١٠/٢) فإنه يمكن أن يحدث تلف للمنشأ بتداخل التيارات عندما لا يقع قريبا من الخط المحمي . نوع التعرض الموضح يعرف بتداخل السريان القطري، والذي يعني مجرد أن المنشأ يقع في مساحة حيث يكون هناك سريان للتيار خلال الأرض، نظرا لأنه يقع تقريبا جزئيا في اتجاه السريان، فإنه يلتقط بعض من التيار على الجانب التالي للآنود، ويصرفه على الجانب البعيد . مثل هذه المشكلة ليس من المحتمل مقابلتها في أي مكان عدا في حالة القرب جدا من طبقة الآنود، ويكون العلاج السهل غالبا بإنشاء صرف ثانوي، كما تم وصفه مسبقا . إنشاء طبقات الآنود بعيدا عن المنشآت سيعمل على تجنب المشاكل من هذا النوع، ولكن هذا ممكن دائما وبكل المعاني .

الخطوط الغريبة بالوصلات المعزولة:(Foreign Lines With Isolated Ioints)

الشكل (١٠/٨) يوضح صعوبة أخرى يمكن وجودها . في هذه الحالة حيث يكون للخط الغريب أربطة أو وصلات غير موصلة ؛ التيار المتجمع لا يمكن إرساله إلى نقطة الربط بدون عمل ممر تحويلي للرباط. عند نقطة كل ممر تحويل يسرى بعض التيار خارج الخط وخلال التربة ثم يعود ثانيا إلى الوصلة الثانية، مع حدوث التآكل على الرباط بعيدا عن الخط المحمي .



شكل (١٠/٨) خط غريب بوصلات (حديدية): إنشاء الرباط عند نقطة التقاطع سوف يمنع التلف هناك، ولكن سوف يظل هناك حدوث تلف عند الوصلات الميكانيكية، بواسطة التمرير الجانبي للتيار لتفاد بها/ خلال التربة . يمكن علاج ذلك بربط الوصلات أو باستخدام آنود مغنسيوم إضافي للصرف

مثل هذا الخط، البعيد عن طبقة الآنود، سوف لا يلتقط التيار الكافي لإحداث تلف ملحوظ، باستثناء عندما يقع الخط في منطقة الكثافة العالية للتيار حيث هنالك يمكن حدوث التلف . يمكن إحباطه إما بربط الوصلات ضعيفة التوصيل (منشأ بالرباط التقاطع) أو بإنشاء صرف إضافي على كل وصلة للخط خلال المساحة المعرضة . يمكن جمع الطريقتين وذلك بإنشاء الرباط وآنود المغنسيوم على وصلات تبادلية، بحيث أن يحدث فصل الخط إلى مقطعين بوصلتين، كل واحد منهم له آنود صرف ثانوي واحد .

الفصل الحادى عشر

11

التشغيل والصيانة

Operation And Maintenace

التشغيل والصيانة

Operation And Maintenance

أهمية الإشراف الجيد :

إن التلف الكلي أو الجزئي لنظام الحماية الكاثودية لا يحدث بدون مصاحبة علامات مرئية . ففي حالة تلف في الطلمبة فإنه يحدث إما فقد في الضغط أو ارتفاع في الضغط في مكان ما . نفس الشيء سيحدث لمعظم النظم الميكانيكية والكهربية المقامة لأداء مختلف المهام، وفي هذه الحالات فإن التلف سوف يتم إدراكه والعمل على تلافيه . ولكن في حالة حدوث تلف في نظام الحماية الكاثودية حيث ينخفض الجهد ما بين الماسورة – التربة (وهذا لا يمكن رؤيته عدا بواسطة العيون المتخصصة للأجهزة) وعمليات التآكل البطيئة نسبيا تستأنف نشاطها في التدمير . عندئذ في حالة عدم وجود شخص يقظ فإنه لا توجد علامات مهما كان التلف حتى حدوث التسرب. خلال هذا الوقت فإنه يحدث كثيرا من التلف للنظام المفترض حمايته، بالإضافة إلى ذلك الذي يحدث عند نقطة واحدة ذات أقصى معدل تآكل حيث حدث التسرب .

بجانب الهبوط في الجهد من الماسورة إلى التربة، يوجد كذلك بعض شواهد الفشل والتي يمكن أن تلفت الانتباه لعناصر الإشراف . في حالة استخدام النظام لجهاز تعديل التيار، فإنه عادة سوف يكون (ولكن ليس دائما) تغير في قراءات الأميتر والفولتميتر على الوحدة . كذلك سوف يكون ، في حالة الفشل في الوحدة نفسها، هبوط في الاستهلاك الكلي للطاقة – والذي سوف يمكن رؤيته على مقياس الوات – ساعة الذي يتم قراءته شهريا واستهلاك الطاقة . إذا كان النظام مبنى على آنودات المغنسيوم، فإنه يمكن أن يكون هناك تغير في خرج التيار لمجموعات الآنود؛ ولكن هذه ليست من المحتمل ملاحظتها مثل الهبوط في الجهد ما بين الماسورة – التربة .

الأشياء المختلفة الذي يمكن أن تحدث لتسبب الفشل الكلي أو الجزئي لنظام الحماية يمكن اختباره بطريقة جيدة باستخدام النظامين الأساسيين وهما نظم جهاز تعديل التيار – الطبقة الأرضية ونظم آنودات المغنسيوم .

الفشل في نظم جهاز تعديل التيار – الطبقة الأرضية : الأشكال (١١/١ ، ١١/٢ ، ٣/ ١١، ١١/٤) .

Failure In Rectifier Ground Bed Systems :

يجب معرفة أن الفشل يمكن أن يحدث في أى مكان في النظام الكامل، والذي يشمل المنشأ المحمي وكذلك تجهيزات الحماية . عندما تكون الحماية بواسطة جهاز تعديل التيار حيث يتم صرف التيار على الطبقة الأرضية، فإن الأجزاء الآتية للنظام الكلي تكون معرضه للفشل :

١- مصدر الطاقة ، يكون الفشل مستمرا أو مؤقت .

٢- جهاز تعديل التيار – المحمول، المصفوفات، قاطع التيار، أو أجهزة أخرى.

٣- وصلة الكابل إلى الطبقة الأرضية، أو بين عناصر الطبقة الأرضية ، وبهذا فإن الفقد في الحماية يمكن أن يكون كاملا أو جزئيا لهذا السبب .

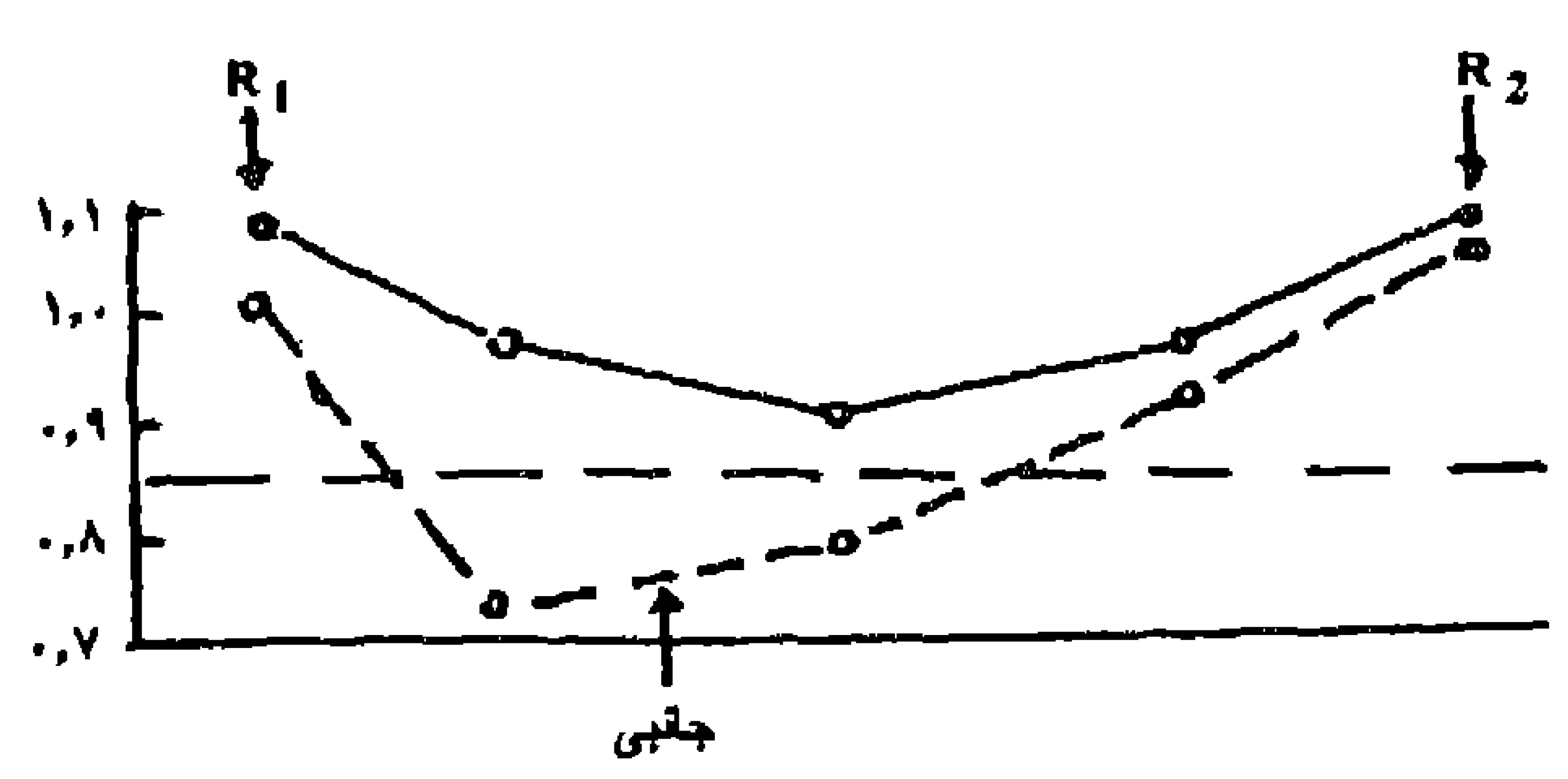
٤- الطبقة الأرضية نفسها، آنود أو أكثر يمكن أن يفقد الاتصال؛ حيث يوجد زيادة في المقاومة الكلية بسبب ظروف التغير في رطوبة التربة؛ أو أن يكون هناك استهلاك كلي أو جزئي للآنود .

٥- وصلة الكابل إلى الماسورة نفسها .

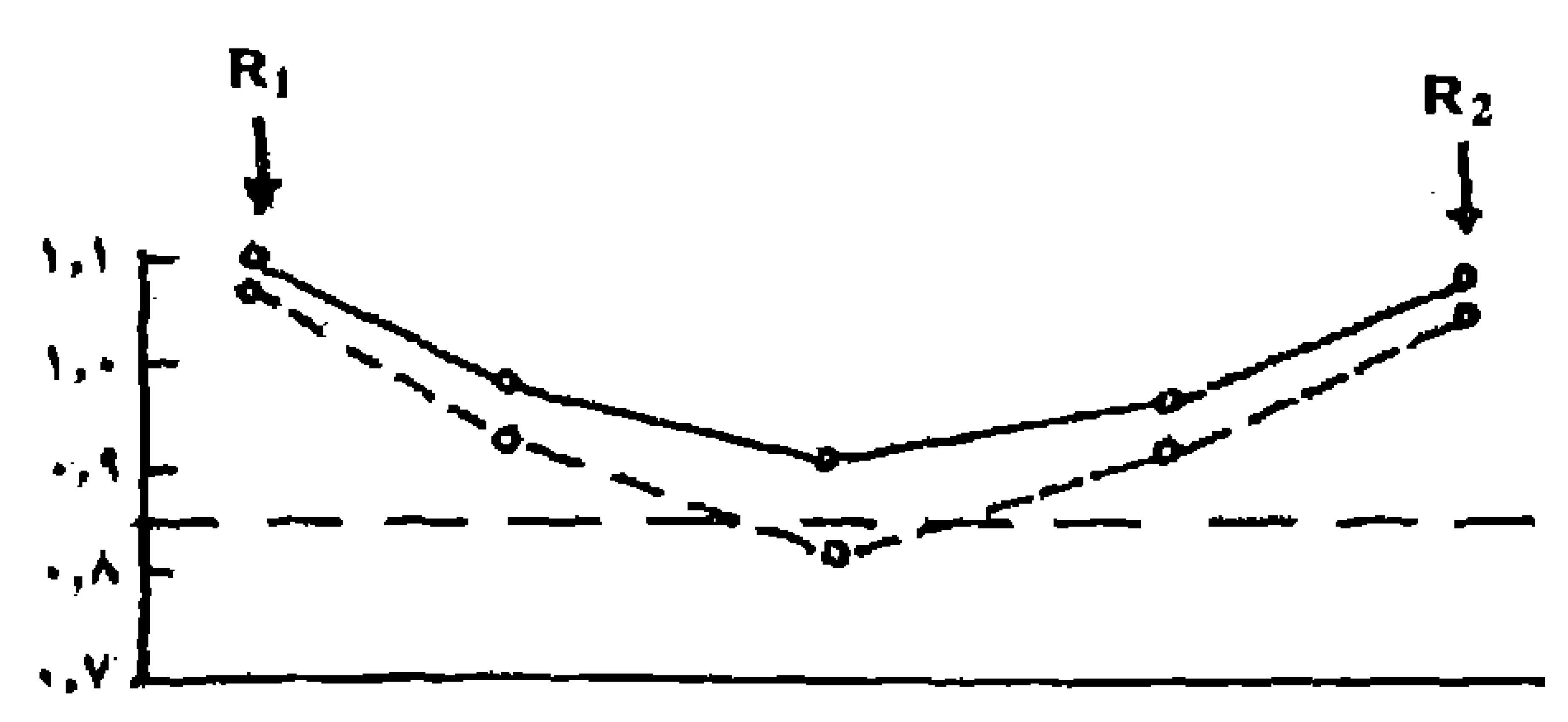
٦- توصيل كهربي مصادمة إلى المنشأ المحمي من كتلة معدنية حيث حمايتها ليست متوقعة، وبذا يزداد التحميل على النظام، حيث يمكن أن يحدث التصاق مصادمة مع خط قديم أو خط جديد، وقفله (Short circuiting) لوصلة عزل، أو الالتصاق بقيسون عابر للطريق .

٧- تلف طبقة التغطية للماسورة مع الوقت، أو نتيجة حدوث فعل ما بما يزيد من مطالب النظام فوق طاقة الوحدة المنشأة . بعض وليس كل حالات الفشل المذكورة سوف يؤثر على قراءات العدادات على وحدة تعديل التيار . يجب ملاحظة، أن معظم الفشل سواء كان كلي أو جزئي سوف يظهر كفقد في جهد الماسورة – إلى – التربة على الأقل في جزء من النظام .

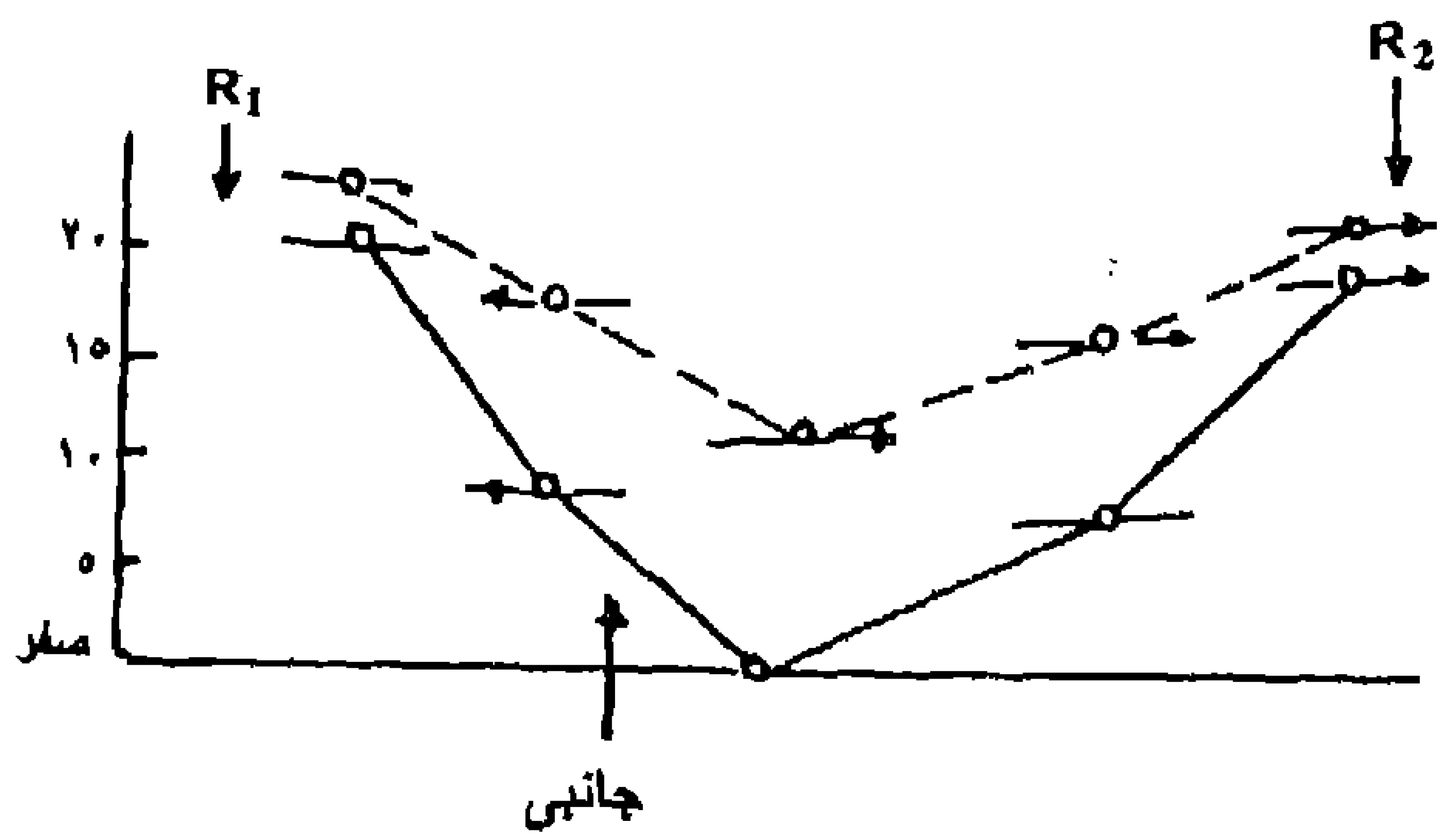




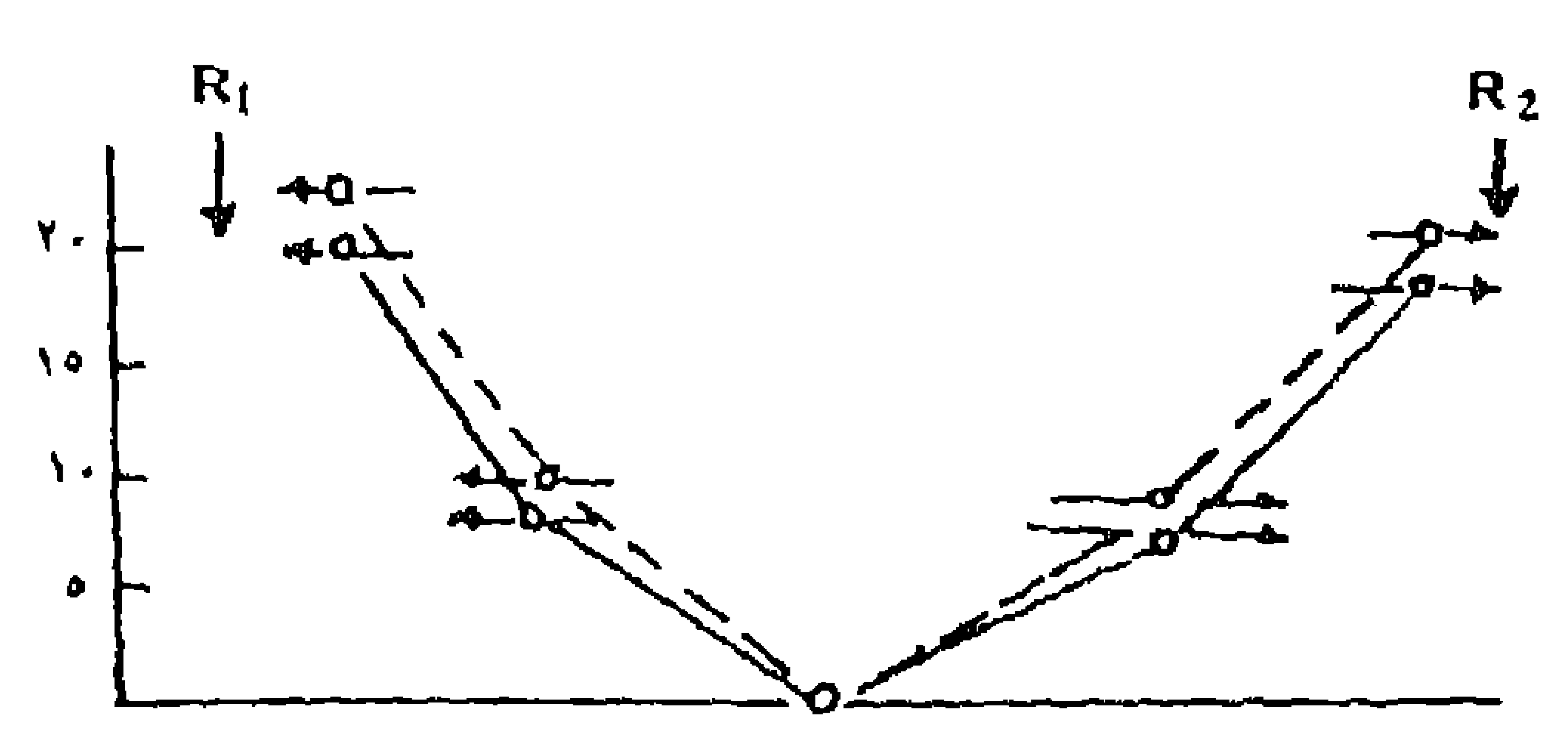
شكل (١/١١) جهد الماسورة / التربة قبل وبعد التلف . الخط المستمر يوضح نموذج للجهد ما بين الماسورة/ التربة موقع ما بين وحدتين تعديل التيار حيث الخط تحت الحماية المناسبة – الخط المهشر يوضح الأعمال المساحية على نفس المقطع بعد تقصير الدائرة بواسطة وصلة عزل، دافعا نحو الخط عرضي غير محمى . أكبر تأثير واضح ليكون عند النقط القريبة من العرضي .



الشكل (٢/١١) جهد الماسورة / التربة بعد تلف طبقة الحماية . الخط المتصل يوضح نفس المقطع الموضح في الشكل (١) : الخط المهشر يوضح الجهود الموجودة على طول المقطع بعد التلف المنتظم لطبقة حماية الماسورة . التأثير كما هو واضح موزع.



شكل (٣/١١) تيارات الخط التي تأثرت بالتلف . الخطوط المهشرة تبين قيمة تيارات الخط في نفس المقطع كما هو موضح في الشكلين السابقين . الخط المتصل يبين تيارات الخط بعد قصر المسافة لوصلة العزل للجانب الغير محمى . التأثير أكثر وضوحا عن ذلك الناتج عن جهود الماسورة/ التربة قياسات تالية لتيارات الخط قربا من الجانبي تكون أكثر تحديدا .



شكل (١١/٤) تيارات الخط التي تأثرت بتلف طبقة الحماية . كما هو موضح ، باستخدام نفس النظام كما في الثلاث أشكال السابقة، التأثير على توزيع تيار الخط للتلف العام لطبقة الحماية خفيف جدا ؛ يلاحظ أن الجهد تأثر بشـدة أكثر .

الفشل في نظم آنود المغنسيوم:

نظام الحماية الكاثودية ككل يكون شبكة أكثر تعقيدا عند استخدام صرف متعدد باستخدام آنودات المغنسيوم؛ وهذا يمكن أن يعني أن بعض أنواع الفشل سوف تؤثر على أجزاء صغيرة من النظام . ويعني كذلك أنه يلزم مراجعة نقط أكثر لتأكيد كفاءة الشبكة ككل .

النظم المستخدمة لآنودات المغنسيوم معرضة للفشل من الأنواع التالية:

١- استهلاك آنود أو أكثر بالاستخدام العادى وبالأداء المحلي . التأثير سوف يكون الإنخفاض لكل من التيار والجهد .

٢- التلف الميكانيكي لأسلاك التوصيل .

٣- الفقد في خرج التيار بسبب الجفاف الغير عادى للتربة، هذا التأثير يمكن أن يكون ناتج الجفاف عند إما الآنود أو الماسورة أو كليهما .

٤ ، ٥ – ونفسه كما في أرقام ٦ ، ٧ سابقا أى التأثيرات المتصلة بالماسورة نفسها .

كما في حالة نظام جهاز تعديل التيار؛ فإن بعض الفشل سوف يبدو كفشل في خرج التيار عند الآنود، حيث لا يوجد مقياس توضيح والذي يمكن من قراءة ذلك، ولكن التيار في طرق التوصيل يمكن قياسه في حالة إنشاء محول، أو إمكان قطع طرف التوصيل لإدخال أميتر. ثانيا، أى فشل سينتج عنه فقد في جهد الماسورة – إلى – التربة .

أقل جدول تفتيش لنظام معدل التيار :

Mini mum Inspection Schedule for Rectifier System

من المفروض أن تتم قراءة كلا من الفولتميتر، الأميتر، مقياس الوات – ساعة لكل جهاز معدل التيار يوميا ، أسبوعيا، على أدنى تقدير شهريا . ينصح بالقراءة من أن إلى آخر حيث تكون عملية الوصول سهلة مثل الوحدات المنشأة عند المحطات المطقمة أو حيث أنه تتم زيارات يومية لأغراض أخرى . القراءة الكثيرة والمتعددة تتم عادة لغرضين وهما أولا الكشف عن المشاكل وعلاجها في وقت قصير بما يقلل من فقد الحماية وثانيا أنه كلما كانت فترة معرفة المشكلة قصيرة للتصحيح، كلما كان من السهل معرفة الأسباب المحتملة .

هذه القراءات يتم توقيعها على مخطط، والذي يمكن من سهولة ملاحظة الاتجاه أو النزعة . التغيرات التدريجية يمكن أن تكون إما تغيرات موسمية في رطوبة التربة أو تلف طبقة التغطية، أو حتى تلف مصفوفة جهاز معدل التيار . التغيرات المفاجئة هي تلك التي تتطلب أقصى مباحث وتصحيح . بالإضافة إلى القراءات الروتينية التي تم شرحها فإنه يتم تفتيش دقيق ومتقن لجهاز معدل التيار على فترات أطول حيث يتم إما نصف سنوى أو كل عام، ويجب أن يشمل النقاط الآتية:

١- قبل فتح الحالة، يتم ملاحظة التلف أو العبث؛ وما إذا كان عداد الوات – سا عة يعمل؟ استشعر الحالة بالنسبة للحرارة واستمع إلى الطنين المنخفض لجهاز تعديل التيار الذي يعمل .

٢- افتح الباب بحرص. راقب وجود ثعابين أو حشرات، اقرأ العداد، سجل الملاحظات، مع قراءة عداد الوات – ساعة . لاحظ علامات وجود التلف أو أي مشاكل.

٣- اغلق مفتاح تشغيل الطاقة الخارجي، بحيث تصبح كل الوحدة ميته . في الحال استشعر كل المصفوفات حيث يكونوا ساخنين، حسب العمل . وفي الحال كذلك فإنهم جميعا سيكونوا عند نفس درجة الحرارة . المصفوفة الباردة لا تعمل، إذا كان اثنين باردين يحتمل أن يكون أحدهما به عطل .

٤- بدون تأخر، استشعر كل الوصلات التي يمكن الوصول إليها . لاحظ أنه يوجد من بينها ما هو ساخن أو دافيء قليلا . أو حالة سخونة أو دفيء سيتم إحكام تثبيتها، في حالة وجودها محكمة، يتم فكها وتنظيفها و/ أو صنفرتها بصنفرة ناعمة ثم إعادة ربطها بإحكام .

٥- يتم الآن عمل التفتيش في وقت الفراغ . لاحظ أى أماكن محرومة من احتمال اللهب أو قفله . راجع الوحدة بالنسبة لتوفير الفيوزات ؛ راجع الفيوزات العاملة بالنسبة لحجمها المناسب .

٦- راجع شباك حجز الأتربة ، الحشرات ، الطيور، أو أى أعشاب أخرى، يتم التنظيف عند الحاجة .

٧- مع استمرار فصل الوحدة، يتم مراجعة عداد الوات – ساعة ، يجب أن يكون القرص لا حركة فيه مطلقا .

٨- راجع لوحة العدادات بالمقارنة بعدادات أكثر دقة .

٩- راجع الحالة في احتمال الحاجة إلى إعادة الطلاء.لاحظ كل المنشأ، مسارات الكابلات، علامات التحذير، الأعمدة، الشدات وأى معدات ثانوية أخرى .

١٠- أعد إدخال الطاقة للوحدة، وراجع الكفاءة. هذه هي النسبة بين التيار المستمر والتيار المستمر المنتج، ويعبر عنه بنسبة مئوية . الخرج من التيار المستمر (DC Output) هو ناتج الفولت والأمبير، كما هو مبين بلوحة العدادات (التصحيح كما في الخطوة رقم ٨) .

يتم تعيين خرج التيار المستمر (DC) من عداد الوات – ساعة، وذلك بعد الدورانات في وقت معين أو زمن الدورة الواحدة إذا كان العمل مرتفع جدا . الخرج بالوات يعبر عنه بالمعادلة التالية .

$$P = \frac{3600\,N\,K}{T}$$

حيث:

P = التيار المستمر الداخل بالوات .

N = عدد دوران القرص .

K = ثابت العداد (يوجد على لوحة العداد)

T = طول مدة العد بالثواني .

يمكن عندئذ حساب الكفاءة من

$$\text{الكفاءة} = \frac{I\,E \times 100}{P}$$

هذه القيمة يتم توقيعها بدلالة الوقت . أى وحدة سوف تظهر انخفاض بطئ في الكفاءة بسبب العمر الطويل للمصفوفة . كقاعدة عامة ، عند انخفاض الكفاءة بنسبة ٢٥% من القيمة الأصلية (بحمل مقارن) يتم استبدال المجموعة .

يمكن كذلك استنتاج متوسط كفاءة وحدة تعديل التيار خلال الشهر، أو أى فترة زمنية أخرى بين قراءات العداد بالمعادلة التالية .

$$\text{الكفاءة} = \frac{I\,E\,T}{1000\,W}$$

E , I = هي قيم العداد المتوسطة خلال الفترة الزمنية

T = طول الفترة الزمنية بالساعات .

W = إجمالي استهلاك الطاقة للفترة الزمنية بالكيلوات – ساعة .

حتى في حالة عدم زيادة جهاز تعديل التيار مطلقا فإنه توجد قيمة في عمل هذه المراجعة باستخدام قيم فواتير شركة الكهرباء . التغير الواضح في الكفاءة أو التوقف التام للوحدة سيتم معرفته .

أدنى جدول للتفتيش على الآنودات: Mini Inspection Schedule For Anodes

من المعروف أن إنشاءات الآنود لا يمكن تفتيشها بإتقان كما يحدث عادة بالنسبة لنظم جهاز تعديل التيار (Rectifier) ، ذلك بسبب العدد الكبير للمكونات . كذلك أيضا فإنه عادة أن تكون المنشآت من نوع نظام الآنود على الخطوط التي لها أهمية اقتصادية أقل . التقنية العامة هي نفسها ، لا توجد عدادات للطاقة لنقرأ، ولكن – ليس

سوى تيارات الآنود والجهود ما بين الماسورة والتربة . التحويلات المركبة على مقدمة الآنود من قراءة التيار عملية سهلة نسبيا، ولكن ليست بسهولة قراءة الجهاز المنشأ باستمرار، كما هو الحال في جهاز تعديل التيار . يقترح استخدام تقنية العينة، مع المراجعة الشهرية لجهود الماسورة – التربة عند حوالي ثلث النقط المتوسطة، النقط المتوسطة الأخرى، وخرج التيار يمكن عندئذ مراجعتهم مرة كل نصف عام أوكل عام . يتم حساب إجمالي خرج التيار بالأمبير – ساعة بحيث يمكن معرفة عمر الآنود، وكذا جدول الاستبدال عند الحاجة .

نظام الرصد: (Monitor System)

التقنية التي يمكن استخدامها لكل من نظام جهاز تعديل التيار أو الآنود هو باستخدام جهاز رصد للجهد (Potential Monitor) . وهذا عبارة عن جهاز مركب باستمرار عند عدد من النقط الحرجة، يتم اختيارها بحيث تكون معبرة عن سلوك النظام ككل . هذه يجب أن تكون قريبة إلى حد ما من النقط المتوسطة للمقاطع بين أجهزة تعديل التيار، ولكن يجب أن تكون في مكان يسهل الوصول إليه . نظرا لأنه يمكن قراءتها بواسطة أفراد غير مهرة، فإنه يمكن استخدام أفراد من الموقع الموجودين في المنطقة عامة ؛ القراءات ترسل إلى قسم التآكل .

يتكون الجهاز من فولتميتر متوسط المقاومة ، عادة ١٠٠٠ أوم على الفولت، مقاوم في حجرة للحماية مناسبة، وموصل بحيث يبين فرق الجهد ما بين الخط المدفون وآنود الزنك المدفون . رغم أن هذا الجهد هو ليس نفس القيمة مثل ذلك للقياسي إلى قطب كبريتات النحاس العادي، فإن الاثنين يمكن مضاهاتهما . أحد أنواع جهاز الرصد يستخدم فولتميتر صفر المنتصف (Zero - Center Voltmeter) ، القراءة ٥٠٠ مليفولت في كل اتجاه. نوع آخر متاح تجاريا كوحدة كاملة، له أساسا نفس العداد ولكنه مرقم بمايبين جهد كبريتات النحاس مباشرة، يتم عمل التجاوز للضبط .

هذه القيم يتم قراءتها على فترات قصيرة، ويتم تسجيلها وتوقيعها . سوف يكون هناك عادة تغير دائرى بطئ مع المواسم ، تغير غير منتظم مع حالة رطوبة

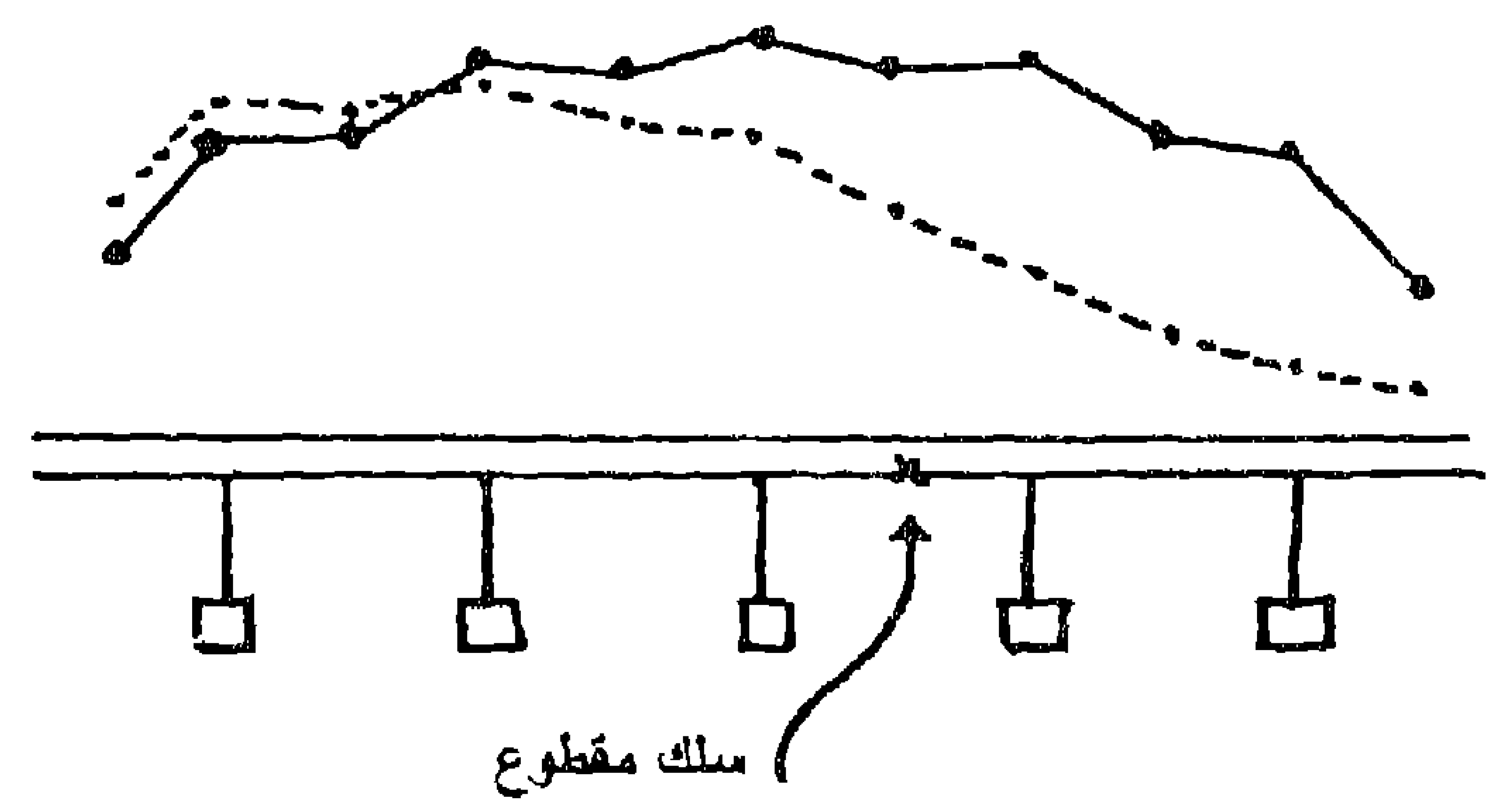
التربة، وربما انخفاض بطئ كليه مع تلف طبقة التغطية . التوقف المفاجئ هو تعريف لعلامات بعض أنواع الفشل، وذلك يتطلب عمليات المباحث الميدانية .

تتبع الخلل وإصلاحه في نظام جهاز تعديل التيار – الطبقة الأرضية شكل (١١/٥)
Trouble Shooting , Rectifier Ground Bed

عندما يظهر الرصد أو مباحث جهد الماسورة التربة أن الحماية غير جيدة، فإن المكان الأول الذي يتم معاينة هو وحدة الحماية . يتم مراجعة خرج التيار من جهاز تعديل التيار (Rectifier) ، إذا كان عاديا ، فإن المشكلة تكون على الخط نفسه، إذا كان مرتفعا ومصاحبا لجهد منخفض فإن المشكلة بالتأكيد على الخط، وتكون بسبب إما لزيادة التيار المطلوب أو نتيجة قفله مع معدن غريب (طفيلي) . إذا كان خرج التيار منخفض والفولت عادى أو مرتفع فإن المشكلة تكون في الطبقة الأرضية أو كابلات التوصيل .

الجهد ما بين الماسورة التربة فوق الطبقة الأرضية سوف يبين الحالة القصوى (A peak) فوق كل آنود الذي يعمل، الآنود المفصول لا يظهر إطلاقا . هذا الاختبار مفيد بالتحديد في حالة إمكان عمل مقارنة باختبار مشابه تمر في توقيت الإنشاء الأصلى . عند وجود آنودات غير نشطة فإن الحفر فقط هو الذي سوف يكشف السبب.

إذا ظهر أن كلا من جهاز تعديل التيار وطبقة الآنود يعملا بطريقة مناسبة، فإنه يجب البحث عن مصدر الجهد المنخفض على الخط نفسه . أى مساحة حيث يتم عمل شغل في وقت قريب يتم بحثها، مثل كما في حالة عمل وصلة جديدة، حيث يجب مراجعة أكيدة للعزل. إذا أظهرت المباحث لهذه المصادر محل الشك عدم وجود شيء، عندئذ يتم عمل بحث أكثر تفصيلا . أولا، يتم دراسة الجهود ما بين الماسورة – التربة، لمعرفة ما إذا كان الفشل محلى . طريقة أخرى أكثر إتقانا ولكنها أبطأ هي بعمل مباحث تفصيلية لتيار الخط، وإيجاد من أين يأتي تيار الصرف إلى الخط . هذا سوف يكون أكثر سهولة للتعرف إذا تم عمل مباحث مماثلة عندما كان الخط في حالة مرضيه، وتكون مسجلة، وبذا فإن المقارنة عادة سوف تحدد سرعة مكان الطفيلي المذنب . على الجانب الآخر إذا كان التيار المتجمع في كل مقطع أكبر من المباحث السابقة، بدون فروق كبيرة، عندئذ فإن المشكلة هي ببساطة بسبب الزيادة في متطلبات التيار الكلية، ربما بسبب تلف طبقة التغطية .



شكل (١١/٥) : تحديد مكان الآنودات الخاملة بالجهود السطحية:
الخط المتصل يوضح الجهود الموجودة على طول خط الأنودات عندما يكون جميعهم منتجين للتيار، الخط المهشر يبين التغير عندما يكون هناك قطع في سلك توصيل الأنود عند النقطة الموضحة . يمكن كذلك تعيين الأنود المفرد الغير متصل بهذه الطريقة . يمكن استخدام عامود رفع أرضي أو وصله ماسورة أو طرف وحدة تعديل تيار/ كقياسي أرضي، كل القراءات سوف تضاهي بهذا العياري.

تتبع الخلل وإصلاحه في نظام آنود المغنسيوم:

التقنية الأساسية هي نفسها التي تم الإشارة إليها سابقا، حيث يلزم قياسات أكثر بسبب تعدد نقاط الصرف . أولا، يتم مراجعة خرج التيار للمحطات الأقرب إلى النقطة ذات الجهد المنخفض، في حالة أن ذلك يكون مناسبا، يتم امتداد مراجعة مشابهة في كلا الاتجاهين حتى يتضح أن المشكلة يجب أن تكون على الخط. عندما يبدو أن مجموعة آنود لها انخفاض ملحوظ في خرج التيار، فإن السبب يمكن أن يكون الجفاف، انكماش طبقة الملئ (Back Fill) ، أو كسر في أسلاك التوصيل أو تلفها . إذا كان التيار صفر، فإن الجهد ما بين الماسورة- التربة لسلك التوصيل سوف يبين ما إذا كان مازال متصلا بالماسورة أو الآنود، وبذا يمكن معرفة اتجاه الخلل . إذا كان التيار منخفض، يمكن أن يكون هناك فقد في واحد أو أكثر من الآنودات بالسلك التالف، مباحث الماسورة – التربة على الآنودات سوف تبين ما هو النشط ، تماما كما هو الحال لآنودات جهاز تعديل التيار . المشاكل التي ظهر أنها على الخط وليست عند محطات الآنود يتم تتبعها بنفس الطريقة كالتي استخدمت للخطوط المحمية بجهاز تعديل التيار ؛ يتم أولا المباحث للأماكن لمعرفة ماذا قد حدث والذي قد يكون هو السبب، ثانيا مراجعة الجهود، وأخيرا عمل مباحث لتيار الخط .

الفصل الثاني عشر



التفتيش والاختبار لطبقة التغطية

Coating Inspection And Testing

التفتيش والاختبار لطبقة التغطية

Coating Inspection And Testing

تفتيش المنشأ، جهاز الكشف عن الثقوب :

Construction Inspecting, And The Holiday Detector

لقد أصبح من واجبات مهندس التآكل التفتيش على طبقة التغطية المتعلقة بمشروع إنشاء خط المواسير، أو بالإشراف على التفتيش. أحد الأدوات المفيدة لإنجاز هذا الواجب هو جهاز الكشف عن الثقوب عالى الشد – High Tension Holiday Detector – . من الأخطاء الشائعة هو الاعتماد على هذا الجهاز على كل مهمة التفتيش على طبقة التغطية، أى قبول أى استخدامات للتغطية والتي قبلت في الاختبار، ورفض تلك التي لم تقبل. لمعرفة مدى هذا الخطأ، يكون من الضروري ملاحظة بعض من بين التغطيات الغير سليمة والتي لا يمكن اكتشافها بهذه الطريقة. أحد هذه هو الالتصاق الجيد، حيث في حالة عدم النظافة الجيدة لسطح الماسورة، أو في حالة طبقة البطانة الرقيقة جدا، أو أن تكون غير موجودة كلية، أو في حالة وجود أتربة ووساخات ، فإن طبقة التغطية تظل مستخدمة والتي سوف تستمر ولكن ليس لفترة طويلة . المهمة الأساسية لجهاز الكشف عن الثقوب والتلفيات هو لتأكيد أن طبقة التغطية هي بالسمك المناسب، وخالية من التجاعيد والفقاعات، أو أى مواد غريبة موصلة .

متى وأين يتم استخدام الجهاز:

ليكون الاختبار مؤثر باستخدام جهاز الكشف عن الثقوب والتلفيات في طبقة التغطية لخط المواسير، فإن ذلك يجب أن يتم في آخر لحظة ممكنة، وذلك بعد مرور كل الظروف التي تسبب التلف لطبقة التغطية . ولذا ولنجاح الاختبار، وفي حالة التنفيذ الغير جيد لطبقة التغطية فإن الاختبار يجب أن يتم بعد تنفيذ طبقة التغطية مباشرة ما أمكن ذلك . في حالة العمل فوق الحفر، فإنه يوجد فاصل زمنى صغير بين هذين؛ حيث يكتفي باختبار واحد عند نزول الماسورة من ماكينة اللف . وعند تغطية الماسورة في الموقع فإنه يلزم على اختبارين واحدة في الموقع حيث لا يلزم تغطية كل الماسورة

المغطاه، ولكن تستخدم عادة فقط للكشف عن أى تغير إلى الأسوء نتيجة التغيرات في درجات حرارة الاستخدام، شد اللفائف، أو طرق التداول .

توجد حاليا مدرستين بتفكير مختلف بالنسبة لموضوع التغطية لمعظم خطوط النقل . أحد هذه يعتقد أن التغطية تتم بكل الإتقان ما أمكن ذلك ومن هذا الرأي فإنه يتم مراجعة كل قدم من الخط باستخدام الجهاز، وكذلك فإن كل التلفيات أو الثقوب التي يتم العثور عليها يتم إصلاحها بحرص . وجهة النظر هذه عادة تتبع المنشأ الذي تم تشطيبه وذلك بأعمال المباحث الشخصية لكل قدم (كما سيتم توضيحه) وذلك مع إصلاح كل التلفيات التي يتم العثور عليها. وجهة النظر هذه بنيت على أساس أنه عند اكتمال الخط سيكون قريبا من الإحكام بحيث أن المطلوب للحماية الكاثودية سيكون كمية صغيرة جدا . هذه تقيم ليس كثيرا بسبب خفض التكلفة، ولكن بسبب أن الخط المحمي جيدا بالحماية الكاثودية سيكون شديد الحساسية لأي اضطراب، حتى أن بوصات قليلة من التلف لطبقة التغطية على أميال من أقرب وحدة، سوف تسبب تغير يمكن كشفه في الجهد . لذا فإن مثل هذا الخط يمكن أن يكون بالإشراف الحذر للمحافظة على استمراره في أفضل الحالات لفترة زمنية طويلة .

وجهة النظر الآخرى المخالفة هي أن الحماية الكاثودية للخط المغطى بطبقة تغطية جيدة بدرجة معقولة وليست التغطية فائقة الجودة التي تم وصفها – تكون تكلفتها منخفضة جدا مقارنة بالتغطية فائقة الجودة . الأخذ بوجهة النظر هذه نادرا ما يستخدم الكشف عن التلفيات والثقوب بنسبة ١٠٠% ، ولا يتم تغطية الثقوب الصغيرة، وتستخدم أفراد المباحث على مقاطع عينات من الخط . وكذلك يتم توصيف مجموعات أقل تكلفة، عدم استخدام بعض المواد المكلفة، الحماية بالصخور مع اختيار اقتصاديات أخرى مختلفة . عندئذ يمكن أن تكون حاجة الخط للتيار قد ترتفع من أربع أضعاف إلى عشرة أضعاف مقارنة بالحالة الأولى، ولكن الحماية الكاثودية الزائدة أقل في التكلفة من عملية إتقان التغطية .

قبل المحاولة للحكم على هذه الاختلافات في البدائل (والتي تقع خارج رؤية مهندس الموقع) فإنه يجب ملاحظة أن التكلفة الممكنة للتسرب تختلف كثيرا على

مختلف الخطوط، وبالتالي فإن موقف التمويل والضرائب لمختلف الشركات سيكون مختلف، وهذا سوف يؤثر بشدة على حجم الإنفاق المطلوب للاستثمارات الراسمالية وتكاليف الصيانة .

تقييم طبقة التغطية في الموقع: (Evaluation Of Coating In Place)

يمكن تقييم طبقة التغطية على خط المواسير المدفون تحت الأرض بواحد من ثلاث طرق وهي :

باختبار احتياجات التيار كما تم وصفه في الفصل (٤) .

بقياس التوصيل الكهربي لطبقة التغطية، أو بقياس التوصيل للصرف (Leakage Conductance) ؛ أو بتحديد مكان التسرب والتلفيات والثقوب بواسطة الأعمال المساحية بالمعاينة المباشرة بواسطة شخص مدرب. الملاحظة والتفتيش بالمعاينة المباشرة له قيمة كبيرة عدا في حالة التغطية الضعيفة جدا أو الجيدة، وعندئذ النتائج غير حاسمة .

التغطية أو التوصيل للتسرب: (Coating or leakage Conductance) شكل (٣/١) (Micromohs / Sguare Foot) . يكون كذلك في المعتاد التعبير عن التوصيل للخط بوحدات الطول وليس بالمساحة، في حالة أن الوحدة هي بالميكرومهوز على القدم. كثيرا من حسابات التوصيل تتم باستخدام وحدة الطول بالمليون قدم (Mega Foot). في هذا النظام يعبر عن التوصيل بالمهوز (Mohs)، يجب ملاحظة أن المهوز على المليون قدم هو نفسه الميكرومهوز على القدم .

إذا كان التغير في الجهد بالنسبة للأرض البعيدة بواحد فولت ينتج عنه التغير في تيار التسرب لمقطع الخط واحد أمبير، عندئذ يكون التوصيل الكلي لهذا المقطع هو واحد مهو (Mho) . التوصيل لوحدة الطول أو لوحدة المساحة يمكن عندئذ الحصول عليه بقسمة التوصيل الكلي (Tota Conductance) على الطول أو المساحة . القيم المتحصل عليها عليا تتراوح ما بين المنخفضة مثل ١-١٠ ميكرومهوز على القدم المربع (التغطية الممتازة في تربة عالية المقاومة) ، ١٠ - ٥٠ (التغطية الجيدة في

العالية، أو التغطية الممتازة في التربة ذات المقاومة المنخفضة جدا) حتى المرتفعة إلى ٢٠٠٠ أو أكثر (التغطية الضعيفة جدا) ؛ حتى أن الخط الغير مغطى (العارى) له توصيل "تغطية" يمكن قياسها ، والتي مثل ذلك للماسورة المغطاه حيث يتأثر بشدة بمقاومة التربة .

توجد ثلاث طريق مختلفة، مطبقة في ثلاث حالات للقياس كالآتي:

١ـ الطريقة العامة:

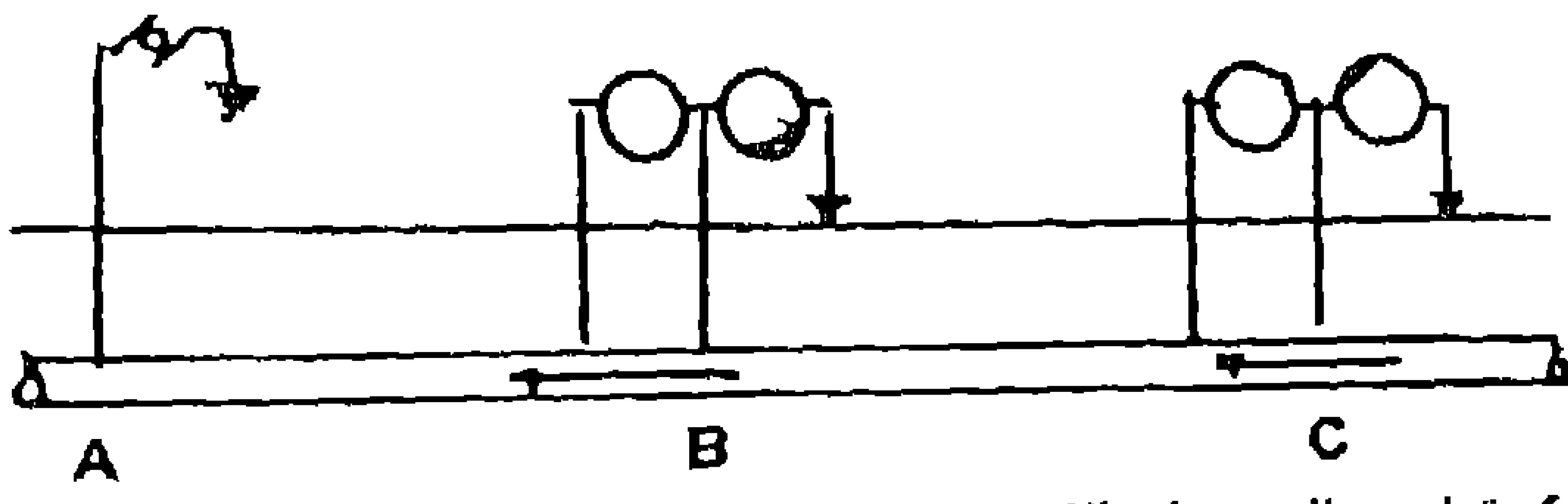
وهذه مبنية على أنه عند القياس المباشر للكميات الأساسية وهي سريان التيار الكلي إلى مقطع معين، ومتوسط الحيود للجهد في هذا المقطع بسبب التيار وطول المقطع .

التنظيم المستخدم موضح في الشكل (١٢/١) . يجب ملاحظة عاملين عند استخدام هذه الطريقة، وهما:

أ- القيمتين لـ ΔI يجب أن يختلفا بما فيه الكفاية بحيث أن يكون اختلافهم واضح (مثال إذا كانت قيمة أحدهم ٦,٢٥ أمبير والآخر، ٦,٢ أمبير فإن الفرق ٠,٠٥ لا يعرف بالفرق الكافي، حيث يوصى بنسبة لا تقل عن ٢:١ .

ب- العامل الآخر الذي يجب ملاحظته هو أن القيمتين لـ ΔE يجب إلا تختلف كثيرا، وإلا فإن المتوسط الحسابي لا يكون تقريب كافي لحقيقة متوسط حيود الجهد .

نسبة القيمتين لـ ΔE يجب ألا تزيد عن ١,٦:١ ، عموما . في حالة عدم مقابلة هذه الحدود، فإن الفاصل يجب تقصيره أو إطالته طبقا للحاجة .



شكل (١٢/١) قياس التوصيل الكهربي لطبقة التغطية للحماية. يتم صرف التيار بطريقة متقطعة عند A . عند B ، C يتم عمل القياسات لتيار الخط مع الصرف وإيقاف الصرف، الفرق

هو (ΔI) . عند نفس النقط يتم عمل القياسات لجهد الماسورة بالنسبة لقطب بعيد مع الصرف وإيقاف الصرف؛ هذه الاختلافات هي (ΔE) ، إجمالي التيار الملتقط في المقطع يكون عندئذ ($\Delta I_E - \Delta I_{10}$) ، متوسط حيود الجهد هو $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2} \times (\Delta E_E + \Delta E_C)$

توصيل المقطع يكون عندئذ $\frac{I}{E}$ ، أو $\frac{2(\Delta In - \Delta Ic)}{\Delta E_B + \Delta E_0}$ هذه القيمة يتم قسمتها على مساحة المقطع لتغطي التوصيل للقدم المربع

٢ـ طريقة الخط الطويل :

عندما يكون مقطع الخط بعيدا بما فيه الكفاية من النهاية حيث السلوك هو مثل ذلك للخط الطويل أو للخط الطويل جدا (راجع الفصل ٥)عندئذ فإن الطريقة البسيط تكون قابلة للتطبيق . يتم صرف التيار المضطرب (Interrupted) وآخذ قراءة الجهد P/S عند نقطتين – واحدة بعيدا جدا عن نقطة الصرف لتجنب تأثيرات قرب الآنود، والأخري تكون بعيدة أكثر طبقا لما هو مطلوب، حيث الطول لتكون القراءة كبيرة بما يكفي أن تكون قابلة للاستخدام .

(لاحظ أنه عادة يكون من الضروري أخذ أكثر من مجموعتين لهذه القراءات لتعيين ما إذا كان الخط هو خط طويل ..الخ) لا يلزم قراءات للتيار، باستثناء التأكيد فإن التيار هو نفسه لكلا قراءات الجهد . ثابتة التوهين يمكن عندئذ الحصول عليه من:

$$\propto L = Log_e (\Delta E_a / \Delta E_b)$$

$\propto$ = ثابت التوهين (التخفيف) (Attenuation Constant)

L = المسافة بين النقطتين b , a حيث يتم عندها قياس ΔE .

Log_e = تعنى اللوغاريتم الطبيعي الذي يؤخذ من نسبة الجهد من هذه القيمة يمكن الحصول على K من :

$$\propto \sqrt{r k}$$

حيث :

r = المقاومة الطويلة للماسورة

K = هي التوصيل لوحدة الطول

الوحدة المناسبة للاستخدام هي الميجا قدم (Mega Foot) .

في حالة توفر إتساعات قياس التيار المعاير، يمكن استخدام نفس الطريقة، باستخدام تيارات الخط بدلا من الجهود (Potentials) عندئذ تستخدم المعادلة الأولى :

$$\propto L = Log_e (\Delta Ia / \Delta Ib)$$

وباقي الحسابات هو نفسه كما سبق . تيارات الخط عادة تكون معرضة لتأثير خارجي قليل جدا مقارنة بالجهود، لذلك فإن هذه الطريقة عادة تكون دقيقة وثابتة .

٣ـ طريقة الخط المنتهي (Terminated Line Method)

إذا كانت ΔE عند نهاية الخط (وصلة معزولة أو مفتوح، أو خط غير متصل) كبيرة جدا لتكون مفيدة، عندئذ فإنها وقيمة أخرى لـــ ΔE يمكن استخدامهم لحساب ثابت التوهين، وبذا التوصيل .

القيمة الأخرى يجب أن تكون بعيدة بما فيه الكفاية عند نقطة الصرف لتجنب تأثير قرب الآنود ، كما يجب أن تكون مختلفة بما فيه الكفاية عن تلك عند النهاية لتوفير نسبة يمكن استخدامها بينهما . المعادلة هي:

$$\text{Cosh} \propto L = \Delta E_a / \Delta E_L$$

حيث Cosh تبين (Hyperbolic Cosine) ، حيث جداولهم متاحة.

L , a هما النقطتين التي تشير إلي حيث يتم قياس الجهود، L المسافة بينهما . باقي الحساب هو نفسه كما سبق .

٤ـ طرق أخرى: (Other Methods)

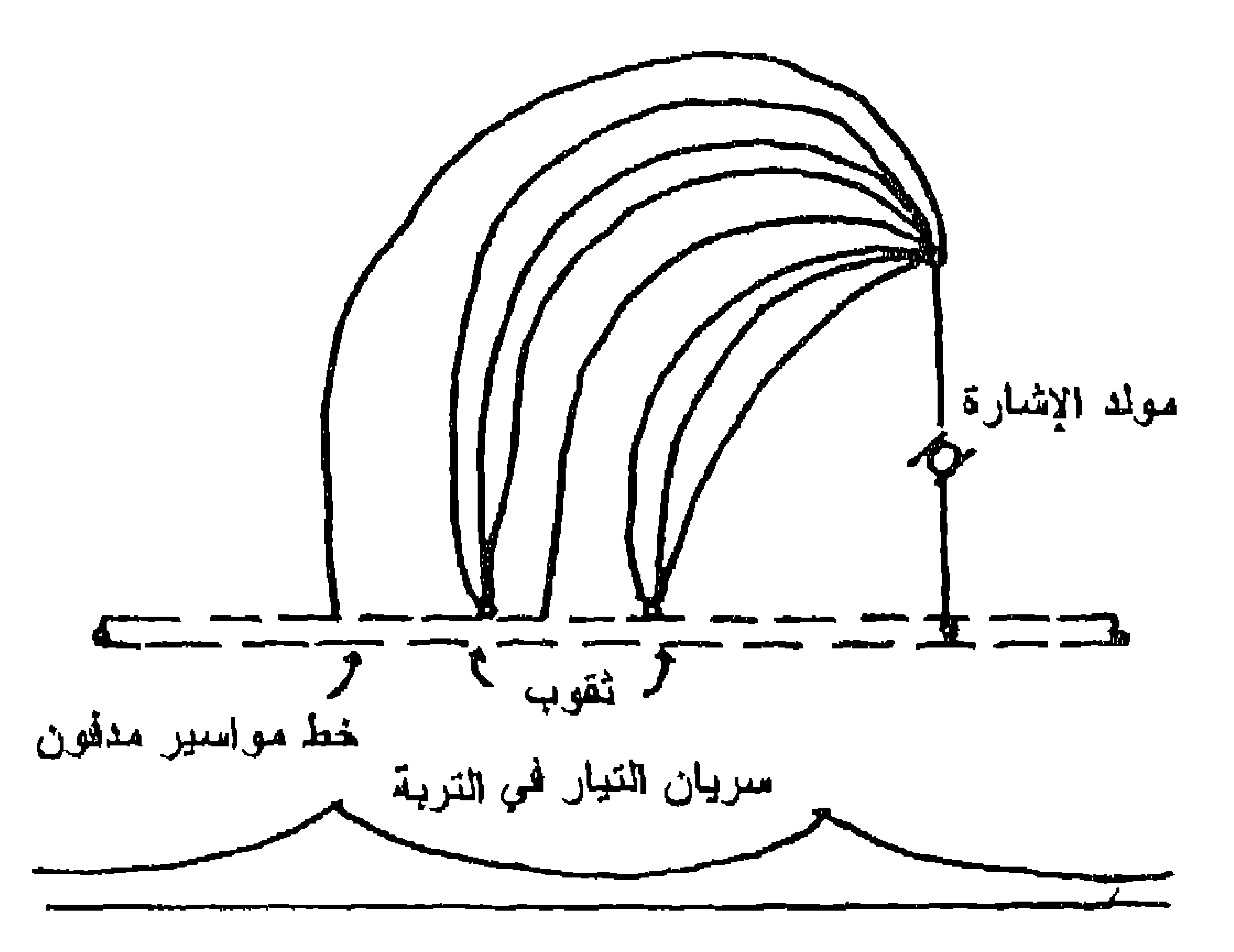
يوجد طرق أخرى كثيرة لتعيين التوصيل لطبقة التغطية . من يعرف معلومات مستفيضه عن معادلات التهوين والرياضات المتعلقة بها فإنه يمكن أن يستغني عن كمية كبيرة من العمل الميداني، إنشاء خوابير الاختبار ..الخ . وذلك باختيار الطريقة الأكثر مناسبة للموقف المتاح .

مباحث بيرسون: (Pearson Surveys) اشكال (١٢/٢) ، (١٢/٣)

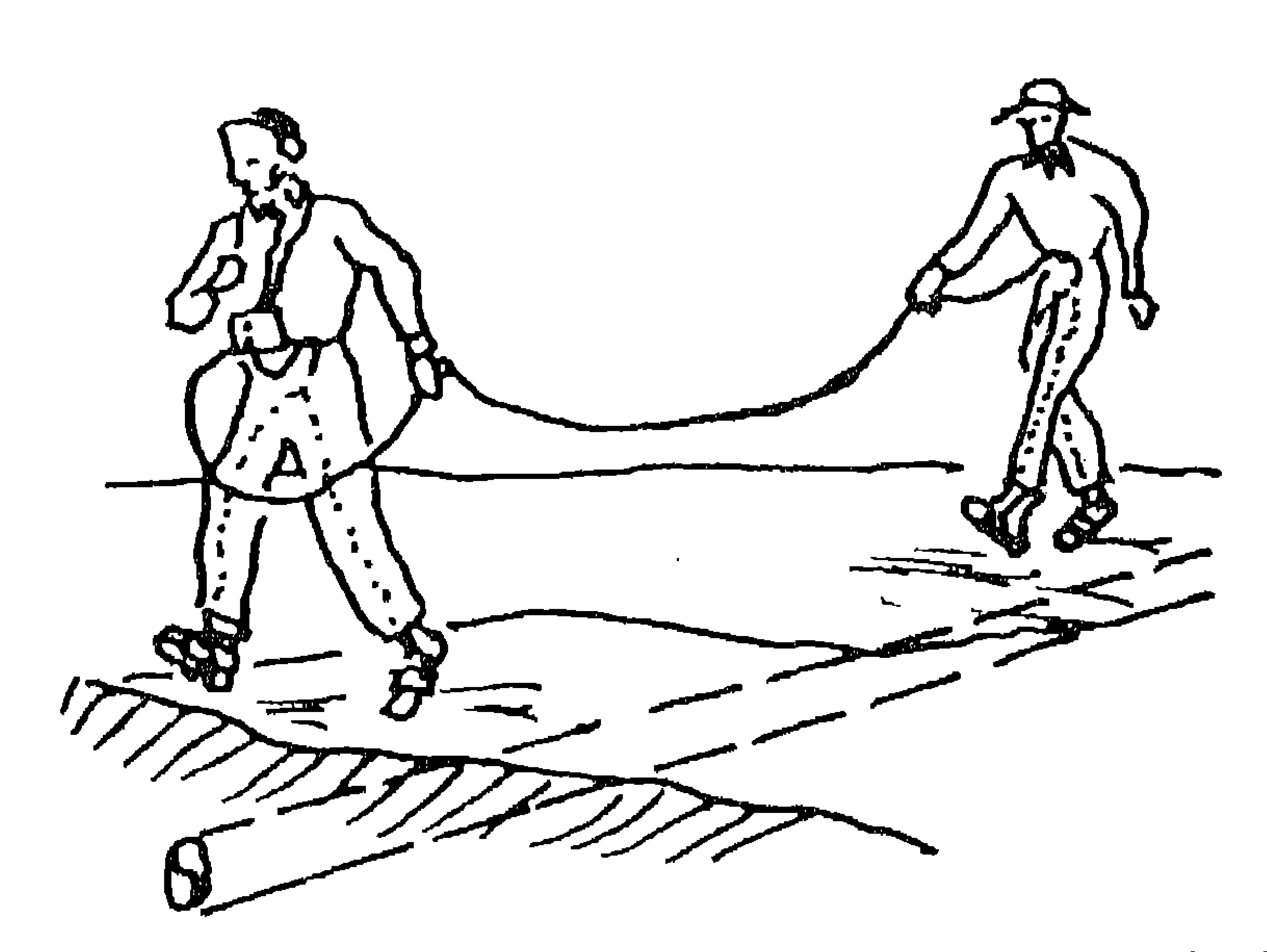
الجهاز الذي ابتكره دكتور جون بيرسون (John M Pearson) يمكن من تعيين مكان التلف والثقوب في مادة التغطية للخط المدفون . النظرية المستخدمة هي تلك بتأثير الفولت المتغير ما بين الماسورة والأرض، ثم عندئذ اكتشاف الهبوط في الجهد العالى المجاور للنقطة الغير مغطاه . يتم توصيل مولد الإشارة (عادة هزاز) بالخط، الطرف الآخر يتم توصيله بقطب أرضي على بعد عدة مئات من الأقدام . ثم يتم سير طاقم من رجلين على الخط بفاصل ٢٠ قدم . كل فرد يرتدى زوج من ألواح التوصيل على حذائه، فرق الجهد بين النقطتين بفاصل ٢٠ قدم يتم عندئذ التقاطه. يتم تغذية ذلك إلى جهاز التكبير (Ampli Fier) المحمول بواسطة الفرد الأمامي، حيث يمكن سماع الاشارات المكبرة بواسطة سماعات الأذن وكذلك تظهر على عداد . الفرد الخلفي الحامل لقضيب التوصيل، يجعله بعيداً عن العوائق، ومحافظا على مسافة ثابتة مناسبة

مع اقتراب الثقب، يوجد ارتفاع في كثافة الإشارة حيث تصل إلى أقصاها عندما يكون الفرد الأمامى فوقها مباشرة. إشارة قصوى أخرى تسمح عند مرور الفرد الخلفي لنفس النقطة . على الخطوط كثيرة الثقوب يمكن تجنب الارتباك وذلك بأن يقوم فرد السير على الخط والآخر يسير موازي له على مسافة ٢٠ قدم ، بهذه الطريقة فإنه تكون هناك إشارة واحدة لكل ثقب .

ممكن ملاحظة أن العملية تشبه إلى حد ما لعمل المباحث السطحية على خط محمى كاثوديا . التيار المتغير يستخدم بدلاً من الثابت، كما يستخدم نظام مختلف للكشف. النتائج المتحصل عليها بمباحث الجهد السطحي تكون اكثر نوعية، تقنية بيرسون أسرع بكثير، كما لا توجد خطورة من تخطى الثقوب، نظراً لأنها أساساً عملية مستمرة .



شكل (١٢/٢) كاشف الثقوب ماركة (Pearson) :
التيار المتدفق من أرضية مولد الإشارة على خط المواسير يركز عند الثقوب؛ هذا ينتج عنه تركيز التيار في الأرض، والذي ينتج عنه زيادة في إشارة المستقبل ، كما هو موضح على المخطط .



شكل (١٢/٣) عمل جهاز كشف الثقوب ماركة (Pearson): تركيز قوة التيار في التربة ، قريبا من الثقوب تلتقط بواسطة الأحذية للرجلين ثم يتم تكبيرها بواسطة الجهاز الذي يحمله العامل .

الاختبارات المعجلة للتغطية: (Al ccelerated Coating Tests)

تم تطوير عديد من الاختبارات للتقييم المقارن لمواد التغطية المختلفة وكذلك لمختلف تقنيات التغطية . هذه تتكون من استخدام المواد المطلوب إختيارها على أطوال قصيرة من الماسورة أو على قطع من معدن آخر، ثم نعرضهم إلى مجال شديد العدوانية، عادة مع استخدام فولت خارجي، حيث أحيانا يتم عمل العينة كآنود وأحيانا تعمل ككاثود. كل هذه الطرق معرضة للنقد في أنها غير ممثلة للمجال والظروف في الموقع ، كما أنها معرضة للأخطاء للعينات الصغيرة .

أنه من الصعب أو المستحيل مقارنة التغطيات أو طرق الاستخدام على أساس الظروف الحقيقية للماسورة . يلزم فترة زمنية طويلة، كما أنه من المستحيل وجود مقطعين للخط واعتبارهم متشابهين .

كذلك فإن التفتيش الدوري والاختبار المطلوب للبيانات ليس فقط مكلف ولكنه يربك الموقع حتى أن مجرد اختبارات الموقع لا تتطابق مع ظروف الموقع العادية .

الاختبارات المعجلة مفيدة في التخلص من التغطيات أو التقنيات الضعيفة جدا، كما أنها تفيد في الإشارة لتلك التي تحقق إفادة وأعده عند الاستخدام الحقيقي؛ الخبرة بالخطوط العاملة هي التي تعطى الإجابات النهائية، كما أنه ليس من المتوقع إمتلاكها في وقت قصير أو أنه باستخدام المتوسطات الاحصائية لعدد كبير من الخطوط حيث يمكن توفير نتائج صحيحة .

مع الوقت مثل هذه الاختبارات تقدمت كثيرا حيث أعطت نتائج جيدة. التطوير والتحديث يمكن أن ينتج عديد من التغطيات التي يلزم اختبارها في هذا المجال، كما هو الحال لأمور كثيرة فإننا يمكن أن ننظر للأمام لاستمرار العمل وليس للإجابات النهائية .

الفصل الثالث عشر

13

الحماية الكاثودية لخطوط المواسير تحت سطح البحر

Pipline Under Sea

الحماية الكاثودية لخطوط المواسير تحت سطح البحر

Pipline Under Sea

١ـ مقدمة :

خطوط المواسير الغاطسة يمكن اعتبارها واقعة في ثلاث حالات وهي الخطوط الرئيسية الغاطسة، التدفق ، القائمة: (Trunk Lines, Flow Lines Risers) الخطوط الغاطسة هي الخطوط الرئيسية التى تسير إما من الرصيف إلى الشاطئ أو إلى رصيف آخر . مثل هذه الخطوط تكون عموما أضخم من خطوط التدفق (Flow) وتبدأ تحت التيار لأى نظام معالجة على الرصيف . هذه الحقيقة لها علاقة بعدوانية وثبات المنتج المحمول والذى له أهمية وخاصة بالنسبة للتآكل الداخلى . وكذلك الحقيقة المرتبطة بالحماية الكاثودية وهى أن درجة حرارة المنتج وبالتالى درجة حرارة الخط نفسه يكون معروفا ويمكن التحكم فيها . نظرا لأن درجة الحرارة هي من أهم عوامل تنشيط التآكل، فإن هذه الدرجة من التحكم تكون مساعدة إلى حد كبير لمصمم الحماية الكاثودية . الخطوط الغاطسة هي عادة ودائما تكون مغطاه بالخرسانة وذلك لمقاومة الطفو الطبيعي للماسورة . كذلك فإن طبقة التغطية الخرسانية توفر الحماية الميكانيكية للماسورة وطبقة تغطيتها من أى تلف يفعل الأسماك أو تجهيزات تثبيت المرسى (Anchor) . هذا الغطاء الخرسانى يمكن كذلك من وضع الخط فوق قاع البحر بما يجعل من غير الضرورى تنفيذ عمليات الدفن، وبذا تحقيق وفر كبير . ولكن الخطوط ذات القطر الصغير يجب دفنها وذلك لتجنب احتمال التلف بشباك الصيد التى تعمل عند قاع البحر، كما أنه في العادة فإن عمال خطوط المواسير مطلوب منهم عمل خنادق لخطوط المواسير الضخمة هذه .

خطوط الطفو (Flow Lines) : تسير من الآبار البعيدة ، وأرصفة الوصلات ومنصات التوابع تحت الماء، إلى منصة عمل مركزى . وهذه عموما ليست مغطاه بالخرسانة وهى عادة تعمل عند درجة حرارة مرتفعة وخاصة عند نهاية رأس البئر، كما أنها معرضة لدرجة عالية من حدوث التلف لطبقة التغطية في عملية التركيب .

لذلك فإنها معرضة لحالات عدوانية أكثر ولكنها تنعدم بدون خسارة مادية أو بيئية الناتجة عن تلف الخط الغاطس .

تلك الأجزاء من خطوط المواسير الغائصه (Sub marine) ولكنها بعيدة عن قاع البحر وخلال منقطة الطرطشة هي التى تعرف بالروافع (Risers) . وهذه هى أكثر المناطق عدوانية وحساسية، نظرا لكونها معرضة لأسوأ مجموعة من العدوانية بالاصطدام الميكانيكى وبفعل الرياح والماء وكذلك على امتداد الخطوط تكون المنطقة الأكثر تأثرا بالحرارة ، كل هذا يعجل التآكل . الثلاث أنواع من خطوط المواسير التى سبق شرحها ليست مختلفة تماما وذلك بالنسبة لتصميم الحماية الكاثودية . ولكن اختلاف ظروف طبقات التغطية لهذه الخطوط وكذلك درجات الحرارة توجد بعض الاعتبارات ، كما أنه ليس صحيحا التعمم حول الخطوط الغاطسة بدون التحديد لنوع أو أنواع الخطوط التى تناقس . الخطوط الغاطسة فوق قاع البحر مباشرة (Trunk Lines) تكون مغطاه ومحاطة بغطاء من الخرسانة حيث الرقيم الهيدروجينى المرتفع (High Ph) مع الثبات التقريبى للظروف المحيطة ودرجة الحرارة . الصلب للماسورة يكون معرض إلى المجال حيث المحتوى من الأكسجين متوقف إلى أدناه وحيث تكون الاحتياجات من تيار الحماية الكاثودية محدودة . أما خطوط التدفق الغائصة وخطوط الروافع (Flow Lines And Risers) فإنها تكون معرضة لظروف أكثر عدوانية حيث يلزم توفير نظام الحماية الكاثودية بالقدرة على المقاومة أكثر من تلك للخطوط الغاطسة فوق قاع البحر .

في هذا الفصل مرتبط أساسا بالحماية الكاثودية لخطوط المواسير باستخدام الآنودات الضحية التى تتآكل .

٢- التغطية لخط المواسير : (Piple Line Coating)

طبقا لنوع المعايير لتصميم الخطوط الغائصة (Sub marine) تحت سطح البحر بالحماية الكاثودية فإنها تتأثر مباشرة بتآكل طبقة التغطية للماسورة نفسها، وهذا يتطلب مراعاة هذا العامل عند التصميم .

فقد استخدم في الماضى الطلاء من البتيومين والكولتار، حيث تستخدم شرائط اللصق وإن كانت توقفت حاليا واختصر استخدامها على الوصلات الميدانية . ولكن في السنين الأخيرة ثم تطوير نظام التغطية لخطوط المواسير، حيث استخدام مسحوق التغطية من الإيبوكسى، البولى إيثيلين ، البولى يوريثين . مواد التغطية هذه لها خواص طبيعية متفوقة على الكولتار والأسفلت . وهى تتوافق مع درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة أكثر من البثيومين، كما أنها أكثر قوة ومرونة وهذه الخواص جعلت هذه المواد مرغوبة لخطوط المواسير على أو إلى الشاطئ (Ashore) ، ذلك لأنها تتحمل النقل، والتداول بدون الحاجة الي الاصلاح في الموقع . هذه الخواص ليست بالاهميه في حالة المواسير البعيدة عن الشاطئ وخاصة تلك المغطاه بطبقة من الخرسانة قبل الإنشاء .

ولكن توجد خاصية لهذه الطلاءات الجديدة والتى تكون مناسبة بالنسبة لخطوط المواسير الغائصة المحمية كاثوديا ، وذلك لمقاومتها لنفاذية المياه وبالتالى زيادة قوة العزل الكهربى . كما أن التغطية بالإيبوكسى والبولى إثيلين له مقاومة عالية لامتصاص الماء مع المحافظة على المقاومة الكهربية العالية لمدة تعرض كبيرة . وطبقات التغطية هذه التى توفر المقاومة العالية تعمل على خفض متطلبات التيار للحماية الكاثودية بمعدل ٢٠ أو ٣٠ ضعف ، أو إلى المستوى حيث حماية الخطوط الغائصة المستخدمة لنظام التيار التأثير الموجود على المنصات أو التيار المتغير على الشاطئ يكون مناسبا . حاليا كل خطوط المواسير البعيدة عن الشاطئ والمستخدمة لطبقات التغطية الحديثة والمستخدمة لنظام الحماية الكاثودية بالآنودات الضحية (التى تتآكل) أظهر خفض كبير في استخدام عدد هذه الآنودات .

٣ـ تصميم الحماية الكاثودية لخط المواسير :

من المهم عند تناول الحماية الكاثودية بعيدا عن الشاطئ عمل تفرقة واضحة ما بين المنصه أو الرصيف الغير مغطى وخطوط المواسير المغطاه . هذه التفرقة ليست لها أهمية في حالة استخدام التيار التأثيرى ولكن في حالة استخدام الآنودات

الضحية فإن الفرق يكون حاسما لما له من تأثير كبير على تصميم وعمل الآنودات . نظرا لأن كل المنصات البعيدة عن الشاطئ تكون من الصلب الغير مغطى، بينما تكون خطوط المواسير كما سبق توضيحه مغطاه ولا توجد عدا ثقوب قليلة جدا معرضة لمياه البحر ، حيث إجمالى مساحة سطح الصلب المعرض هي عبارة عن مجموع الثقوب في طبقة التغطية .

نتيجة هذا الاختلاف لتصميم الآنود هو كالأتى :

آنودات المنصات (Plat Form) يجب أن تكون قادرة على توفير تيار أولى عالى للاستقطاب إلى كل الأسطح الكبيرة للصلب الغير مغطى، ثم بعد ذلك فإنه يجب توفير تيار بصفة ثابتة خلال كل حياة المنصة . وبالمقارنة وبسبب وجود طبقة تغطية على خطوط المواسير . فإن آنود خط المواسير يكون مطلوب فقط لتوفير تيارات قليلة في المراحل الأولى لحياة الخط، حيث تزداد الحاجة إلى التيار مع التلف في طبقة التغطية لخط المواسير حيث تكون أقصى احتياجات للتيار عند نهاية العمر الفعلى للخط .

آنود خط المواسير يحقق كل هذه المطالب القصوى مع إذابة معظم مواد الآنود الضحية وبينما يكون مدفونا جزئيا أو كليا في طينة قاع البحر .

يتوقف خرج التيار للآنود الضحية على مقاومته المؤثرة في المجال الملاصق، والذى يتوقف بالتالى على شكله . لقد تطور شكل الآنود الضحية كثيرا وفي التصميمات الحديثة يستخدم غالبا أشكال ذات أساور فصيه (Segmented Bracelet) أو نصف أغطية (HalF shell) .

بالنسبة لآنودات الأساور الفصيه المستخدمة حاليا في خطوط المواسير فإن المعادلتين الأكثر استخداما لمقاومة الآنود هما :

$$R = \frac{P}{0.58 \;\; 0.58A^{0.727}}$$ (Modified Petersen) رقم (١)

$$R = \frac{0.315P}{\sqrt{A}}$$ Ohms Mcloy رقم (٢)

حيث :

A = مساحة السطح المعرض للأنود بالمتر المربع .

p = مقاومة ماء البحر (أوم متر) .

R = مقاومة الآنود (بالآوم) .

هذه المعادلات يمكن أن تعطى قيم مختلفة لـــ R لأى قيمة معطاه لـــ A لذلك فإن المعادلة رقم (٢) هي التى تستخدم غالبا . ولكن معايير أخرى مثل كثافة التيار المطلوبة للحماية والمعدل المفترض لتلف طبقة التغطية للخط والذي تمليه عادة توصيات جمعية التصنيف، يؤدى كذلك إلى مقاومة التغير في التصميم وحيث استخدام أى من المعادلتين سيؤدى إلى نتائج مرضية .

خلال المساحة السطحية ، فإن معادلة المقاومة تبين جيدا شكل الآنود، بالإضافة إلى اعتبارات عملية مثل وزن سمك الطبقة والتغليف، ووزن الآنود . من المقاومة يمكن حساب التيار المتاح عند أى نقطة في عمر الآنود باستخدام قانون آوم .

$$I = \frac{\Delta V}{R} \qquad (٣)$$

حيث :

I = التيار (أمبير)

ΔV = فرق الجهد أى الفرق ما بين الفولت للآنود وجهد الاستقطاب (أى جهد الحماية) المطلوب للصلب لتأكيد الحماية (V) .

بالنسبة لآنودات الزنك، أو آنودات (AL - Zn - Hg)، فإن ΔV تكون ٢٥٠ مليفولت (250 m V) لخطوط المواسير الغير مدفونة ، أو ١٥٠ مليفولت للخطوط المدفونة، الفرق يرجع إلى الحاجة إلى استقطاب الصلب فيما بعد لتوفير الحماية في حالة وجود البكتريا المختزلة للكبريتات . بالنسبة لسبائك (Al - Zn - In Alloys) ، فإن ΔV ستكون أكبر بـــ ٥٠ مليفولت . فرق الجهد يمكن خفضه كثيرا عند عمل الحماية الكاثودية باستخدام الآنودات الضحية في الخطوط ذات درجة الحرارة العالية .

وزن الآنود يحدد متوسط التيار الذى يمكن توفيره خلال عمر تصميمي مفترض.

العمر التصميمى يعين بالمعادلة التالية .

$$L = \frac{W \times u}{E \times I} \qquad (٤)$$

حيث :

L = العمر المفيد للآنود بالسنين .

W = وزن كتلة الآنود بالكيلوجرام .

u= معامل الاستخدام الذى يحدد بكمية مادة الآنود المستهلكة عندما لا تستطيع مادة الآنود المتبقية الامداد بالتيار المطلوب .

E = معدل الاستهلاك للآنود (كيلوجرام/ أمبير في العام) .

I = متوسط إنتاج التيار أثناء الفترة العمرية للآنود (أمبير) .

من المعادلة (٤) يمكن ملاحظة أن التيار المتوفر من وزن معين لسبيكه آنود يتآكل يتوقف على معدل الاستهلاك، والذى يعتمد على السبيكة المستخدمة وظروف الاستخدام السائدة . من بين مواد الآنود الضحية المتاحة للاستخدام البحرى، فإن الزنك هوالمعروف جيدا ومفهوم وأداؤه جيد باستثناء في حالة الاستخدامات المدفونة الساخنة. نادرا ما يستخدم المغنسيوم ذلك لأن خواصها بالنسبة للتآكل الذاتى وكذلك فرق الجهد العالى (ΔV) الغير ضرورى يجعله غير عملي ومكلف مقارنة بالزنك أو الألومنيوم. سبائك الألومنيوم هي التحديث الكبير للعقود الخمس الماضية كما أنها أثبتت الاعتماد عليها وتوفير الوزن . فهي تفوقت على الزنك كآنود للمنصه وهى تحدث عدوانية في الحماية الكاثودية لخطوط المواسير الغاطسة (Sub marine) .

آنودات خطوط المواسير لها ظروف خدمة معينة لا تنافس مع تلك لآنودات المنصه .

أولا: فإنها يمكن أن تكون مدفونة إما عن قصد أو عن غير مقصد، أو بطريقة متقطعه.

ثانيا: فإنها يمكن أن تلتصق بخط مواسير يعمل في درجة حرارة مرتفعة والذى يعنى

أن الآنود نفسه سوف ترتفع درجة حرارته . ثالثا ، بالنسبة للسبب الذى تم شرحه فإن الآنود نفسه سوف يعمل عند كثافة تيار آنود منخفضة جدا . كل هذه الظروف تؤثر بطريقة سلبية على قدرة خرج التيار لسبيكة الآنود الضحيه، إلى حد كبير أو قليل .

الإنخفاض الناتج بالدفن، يسبب زيادة مقاومة المجال الملاصق ويمكن حسابه بسرعة . ولكن كثافة التيار المنخفضة للآنود يمكن كذلك أن تسبب انخفاض في الكفاءة، وفي الحالات الحادة استقطاب للآنود . الجمع بين ارتفاع درجة الحرارة وانخفاض كثافة التيار للآنود يمكن أن تزيد من انخفاض الكفاءة .

بمجرد تحديد احتياجات التيار لحماية الأنابيب، فإن التيارات (اللحظية والمتوسط) المتاحة من تصميم الآنود يمكن أن تستخدم لتعيين العدد الكلى للآنودات المطلوبة وبالتالي الفواصل بينها على طول الخط .

ولكن المعايير المستخدمة لتعيين متطلبات التيار لخط المواسير وبالتحديد كثافة التيار المطلوبة لحماية الصلب المعرض الغير محمى والنسبة المتوقعة لتلف طبقة التغطية لم يتم تأكيدها وقبولها . تختلف وجهات النظر لمختلف المصممين ومختلف الجهات نحو قيمة التيار . الجدول (١-١٣) يوضح النتائج العملية للتفاوت الكبير للبدائل لكل من أشكال التصميم .

جدول (١-١٣) بعض التيارات الخاصة بالحماية الكاثودية لخطوط المواسير في بحر الشمال:

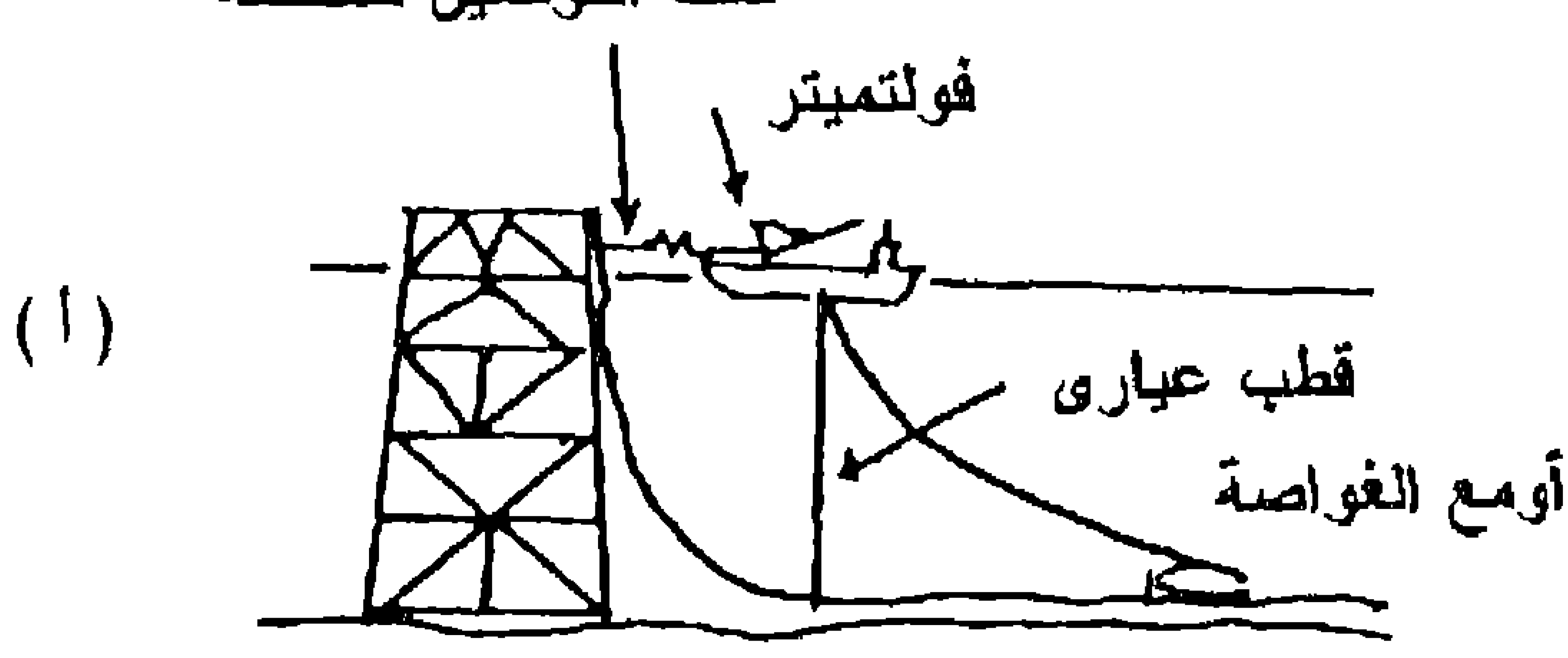
مواقع الاستخدام	الطول بالكليلومتر	القطر بالمتر	متوسط الفاصل بين الآنودات بالمتر	مساحة سطح الآنود متر مربع	نسبة المساحة بين الآنود والكاثود	وزن الآنود كجرام	ملاحظات
١	٦٤	٠,٨١٣	٤٩٥	–	–	٦٥٤	
٢	٢٢٤	٠,٨١٣	١٨٨	–	–	٢٢٧	

٣	٣٤٩	٠,٨٦٤	١٢٠	٠,٩٥٧	١ : ٣٤٣	٣٧٦	
٤	٣٩٦,٥	٠,٩١٥	١٣٤	١,٤١٧	١ : ٢٧٢	٤٥٤	
٥	٢٢٠	٠,٤٥٧	١٨٣	–	–	١٠٩	
٦	٣٥٥	٠,١٨٣	١٦٨	١,٩٣٢	١ : ٢٢٢	٦١٠	
٧	١٢٠	٠,٧٦	١٤٤	٢,٣٤	١ :١٤٦	٣١٩	آنود ألومنيوم

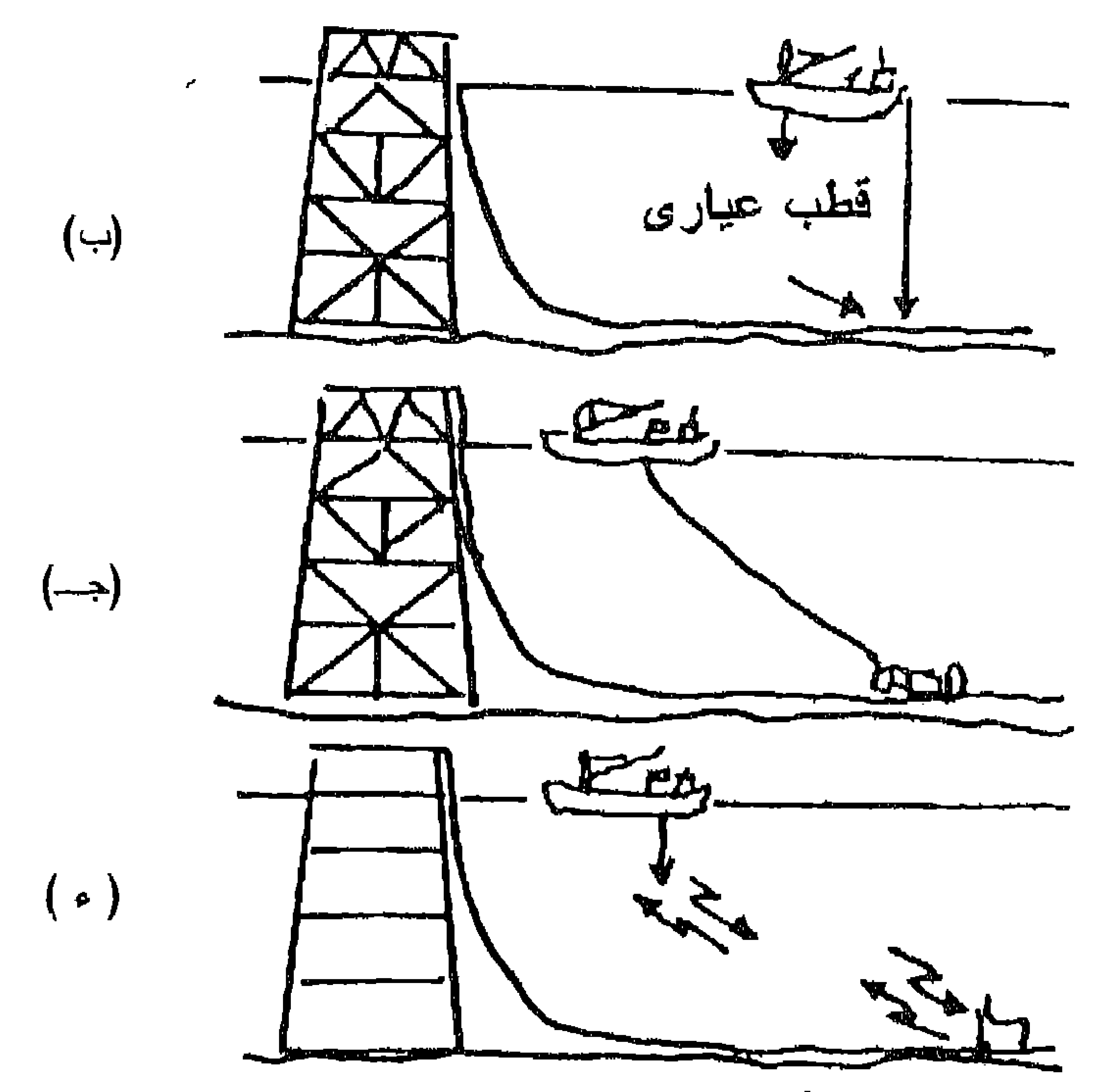
٤ـ عمليات الاستطلاع والمباحث لخط المواسير : (Pipeline Survey)

كما تم مناقشته سابقا، فإن بعض المعايير المستخدمة في الحسابات لتصميم نظام الحماية الكاثودية، وكذلك حقيقة أن بعض المعادلات المستخدمة كلاهما غير مقنع. حيث أنهم لا يعتبروا نوعية التغطية، التيار الحقيقى المطلوب للصلب الغير مغطى، ودرجة الاستقطاب أو نتيجة انتشار الحماية الممكنة . لذلك فإنه نتيجة لهذه السلبيات فإن مهندسى التصميم زادوا من عوامل الأمان حتى أصبحنا الآن في موقف حيث يتم التصميم الزائد بعوامل الأمان التى تزيد عن أكثر من عدة مئات في المائة .

ولكن مساحة الصعوبة في التصميم هي ربما أن تكون : الوصول إلى حل بواسطة تطوير يمكن عند تطويرها تماما أن تكون قادرة على قياس دقيق لجهد الآنود وخط المواسير والأهم هو القياس الدقيق لخرج التيار من الآنود . هاتين النقطتين من البيانات عند تأسيسهم بدقة وبالشكل الذى يعتمد عليه، سوف تمكن مهندس التصميم بالعلاقة المناسبة ما بين الاستنتاج والواقع . الشكل (١٣/١) يوضح الطرق الأربع المستخدمة عادة لرصد الحماية الكاثودية لخط المواسير وهى :







شكل (٣١/١) طرق أربعة مستخدمة عادة للتحكم في الحماية الكاثودية لخطوط المواسير تحت سطح البحر .
(أ) وصلة سلك قوى
(ب) قطب عيارى عن بعد
(حـ) التدرج في القياس الكلى .
(ء) نظام ربط سمعى .

أ- وصلة السلك المعدنى الصلب: (Hard Wire Connection)

عند استخدام هذا النظام بسحب عارضة حديدية (Towed Fish) فإنه يكون نظام سريع وغير مكلف . نوعية البيانات تتأثر بالسلب بوجود النشاط المغناطيسى الجيولوجى (Geomagnetic Activity) وكذلك بسبب نقص المعلومات المؤكدة عن أين نصف الخلية بالنسبة للماسورة، رغم أن ذلك يمكن أن يتم تحسينه في حالة تثبيت القطب على عربة يمكن تحريكها عن بعد (Remotely Operated Vehicle) . هذه التقنية تمكن من توفير الشكل العام للجهد (Potential Profile) ولكنها لا تعطى أي مؤشر عن كمية التيار المنتج من كل آنود، ذلك رغم أنها يمكن أن تبين ما إذا كان الآنود يعمل أم لا. وهى تعين مكان التلف الكبير أو مناطق الخطأ ولكنها لا تبين ما هي المشكلة أوحجمها .

ب- الأقطاب العيارية عن بعد: (Remote Re Ference Electrode)

النظام الثاني يستخدم نصفى بطارية (Two Half Cells) ، أحدهما موضوع ويتحرك على مقربة من الماسورة بواسطة عربة تحريكها عن بعد، والنصف الثاني موضوع بعيدا عن الماسورة .عادة بالنسبة للثاني أن يوضع على العربة التى يمكن تحريكها عن بعد بالحبل السرى(Umbilical) حيث يمكن اعتبار أنها تتحرك في مجال كهربى ثابت . جهد الخط نفسه يتم عندئذ قياسه بالنسبة للأرض البعيدة(Remote Earth) استخدمت هذه الطريقة بنجاح كبير، ولكنها قياس للجهد وليس لقياس خرج التيار من الآنود، وهى تحتاج إلى المعايرة من آن إلى آخر للجهد القريب والبعيد وذلك بالالتصاق بالآنودات على الماسورة لقياس جهدها وذلك في حالة الرغبة في المحافظة على الدقة . وهي يمكنها التعرف على المساحات التى بها مشاكل بدقة أكثر مقارنة بطريقة وصلات السلك المعدنى الصلب .

جـ- قياس التدرج في المجال: (Field Gradient Measurement)

النظام الثالث هوالأكثر حداثه، فهو يستخدم نصفى خلية لهما جهد أقرب إلى التماثل بدوران إما في المجال الكهربى حول الماسورة، أو مثبتين على قضيب . التدرج في المجال يقاس ثم يتم حساب جهد الماسورة وخرج الآنودات . وبالتبادل فإنه يمكن ربط النظام مع قطب قياسىت عن بعد واستخدامه في القياس المباشر للجهد . النظام البسيط لقياس التدرج في المجال، وذلك باستخدام قطبين مثبتين ومركبين على عربة تدار عن بعد ولهما جهد متقارب ومتطابق وعند نصف قطر الماسورة .

ء- النظام السمعى المتصل : (Acoustic Linked System)

هذه الطريقة مبنيه على الإرشاد الاستاتيكي (Static Monitor) ، وخاصة بمعده قادرة على قياس التدرج في المجال، وهى حاليا وفرت الدليل على أقصى المحافظة والإبقاء على تصميم الحماية الكاثودية لخطوط المواسير وفي المستقبل سوف يمكن من زيادة الاعتماد على التصميمات وتنفيذها بطريقة اقتصادية .

الفصل الرابع عشر



الحماية الكاثودية للمواسير والمنشآت الخرسانية

Cathodic Protection Of Concrete Structures

الحماية الكاثودية للمواسير والمنشآت الخرسانية

Cathodic Protection Of Concrete Structures

١ـ مقدمة :

في حالة التصميم والتنفيذ الجيد للمنشأ الخرسانى فإن أسياخ التسليح من حديد الصلب وكذلك أسلاك الحديد سابقة الإجهاد تكون محمية من التآكل بالمجال القلوى للخرسانة . حتى في الظروف العدوانية فإن الخرسانة ذات النوعية الجيدة والمدمجة والملتصقة جيدا بالحديد وتحقق له التغطية الكاملة سوف تمنع التآكل للصلب تماما ولسنين كثيرة . ولكن لماذا تتم الحماية الكاثودية للمنشآت الخرسانية؟ يبدو أن هناك ثلاث أسباب لذلك وهى:

أ- الأخطاء في وضع ودفن التسليح أو أى شبك تسليح في أجزاء من المنشأ يمكن أن يتآكل بسبب التلف الميكانيكى للتغطية الخرسانية، أو بسبب التصميم أو الإشراف الضعيف على التنفيذ حيث وجود مساحات من عدم التغطية أو الحماية لحديد التسليح. في حالات قليلة وبالتحديد في كبارى الطرق السريع استخدمت الحماية الكاثودية لتجنب التلف بسبب التآكل .

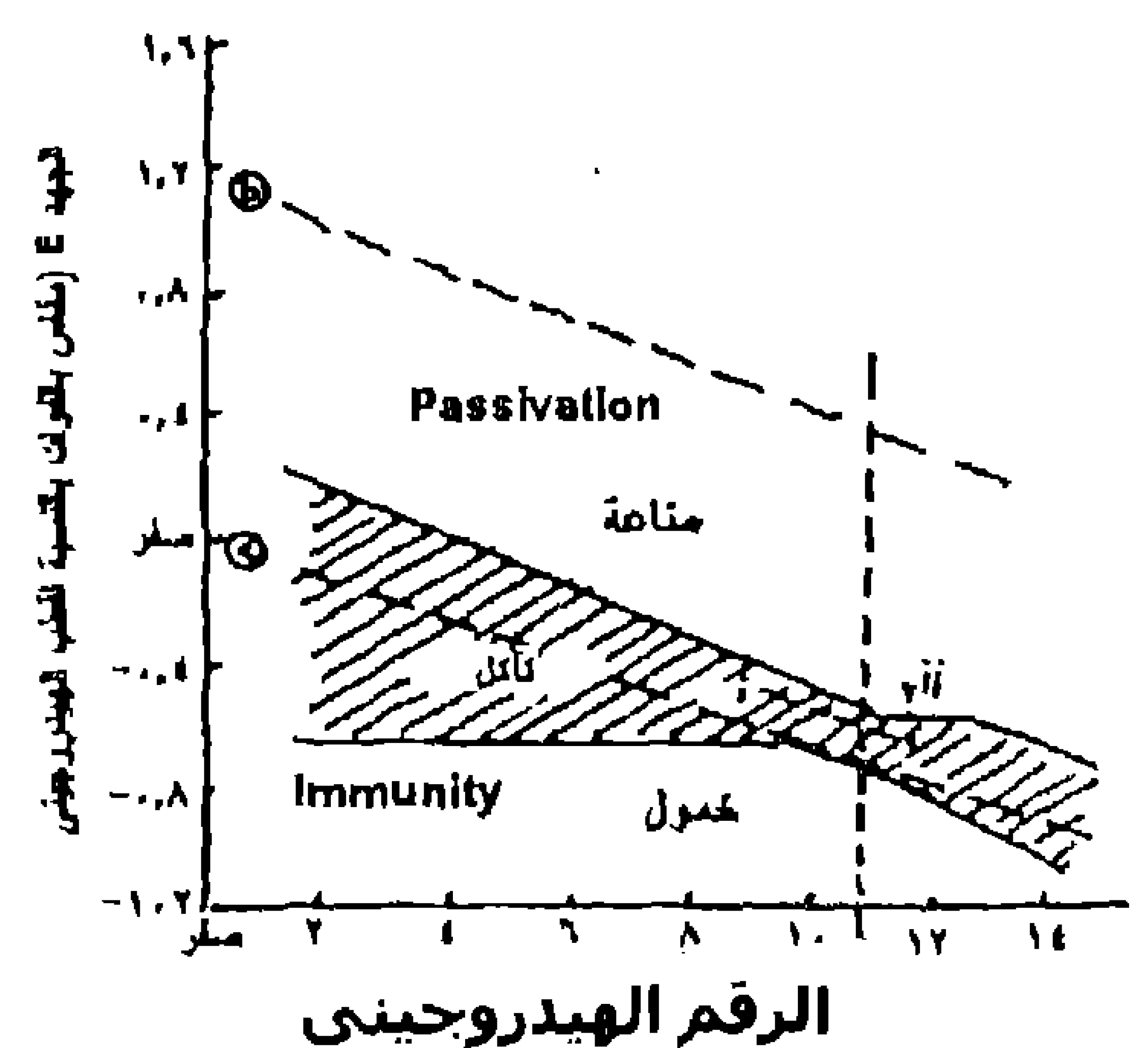
ب- في حالة توقع حدوث التآكل، فإنه يتم إتخاذ الإجراءات أثناء الإنشاء ولعمل الحماية الكاثودية . وهذه يمكن أن تكون ببساطة هى عمل التوصيل الكهربى لحديد التسليح مع وجود نقط توصيل خارجية، أو يمكن إقرار الحماية من الخارج وخاصة في حالة الخزانات المدفونة جزئيا أو خطوط المواسير من الخرسانة سابقة الإجهاد المدفونة تحت سطح الأرض حيث يكون من الصعب التعامل مع حالة التلف .

حـ- في حالة الحماية الكاثودية لمنشأ معدنى الملتصق بمنشأ خرسانى فإنه من غير المناسب تجنب الإلتصاق الكهربى مع التسليح في الخرسانة . ويحدث هذا في حالات الأرصفة البحرية البعيدة عن الشاطئ .

٢ـ حماية الصلب بالخرسانة :

الإليكتروليت الموجود في مسام خرسانة الأسمنت البورتلاندى عالى القلويه حيث يصل الرقم الهيدروجينى (PH) ما بين ١٢,٥ – ١٣,٥ وذلك بسبب إذابة الملوثات من إيدروكسيد البوتاسيوم وإيدروكسيد الصوديوم وكميات أكبر من إيدروكسيد الكالسيوم $ca(OH)$ الذى يتكون أثناء تميؤ الأسمنت . في المحاليل القلوية تتكون طبقة مناعة على الصلب وهذه المناعة هى السبب الرئيسى في الحماية الكاملة من التآكل للصلب المدفون في الخرسانة القوية . طبقة المناعة (Passive Film) تكون مستقرة خلال مجال كبير من الجهد شكل (١٤/١) وفي الخرسانة المهواه تكون الجهود أساسا موجبة بالنسبة لقطب النحاس/ كبريتات النحاس القياسى أى أكبر من ٣٠٠ مليفولت بالموجب نسبة إلى قطب الهيدروجين القياسى . إزالة المناعة من الصلب لا تتم لسنين كثيرة بعدة سنتيمترات من الخرسانة الجيدة القوية، ولكن في حالة العيوب مثل عدم الإلتصاق الجيد ما بين الخرسانة والصلب وعدم الدمك للخرسانة قد يؤدى إلى سرعة الوصول للآيونات العدوانية إلى طبقة المناعة وتتلفها بما يسمح باستمرار التآكل .

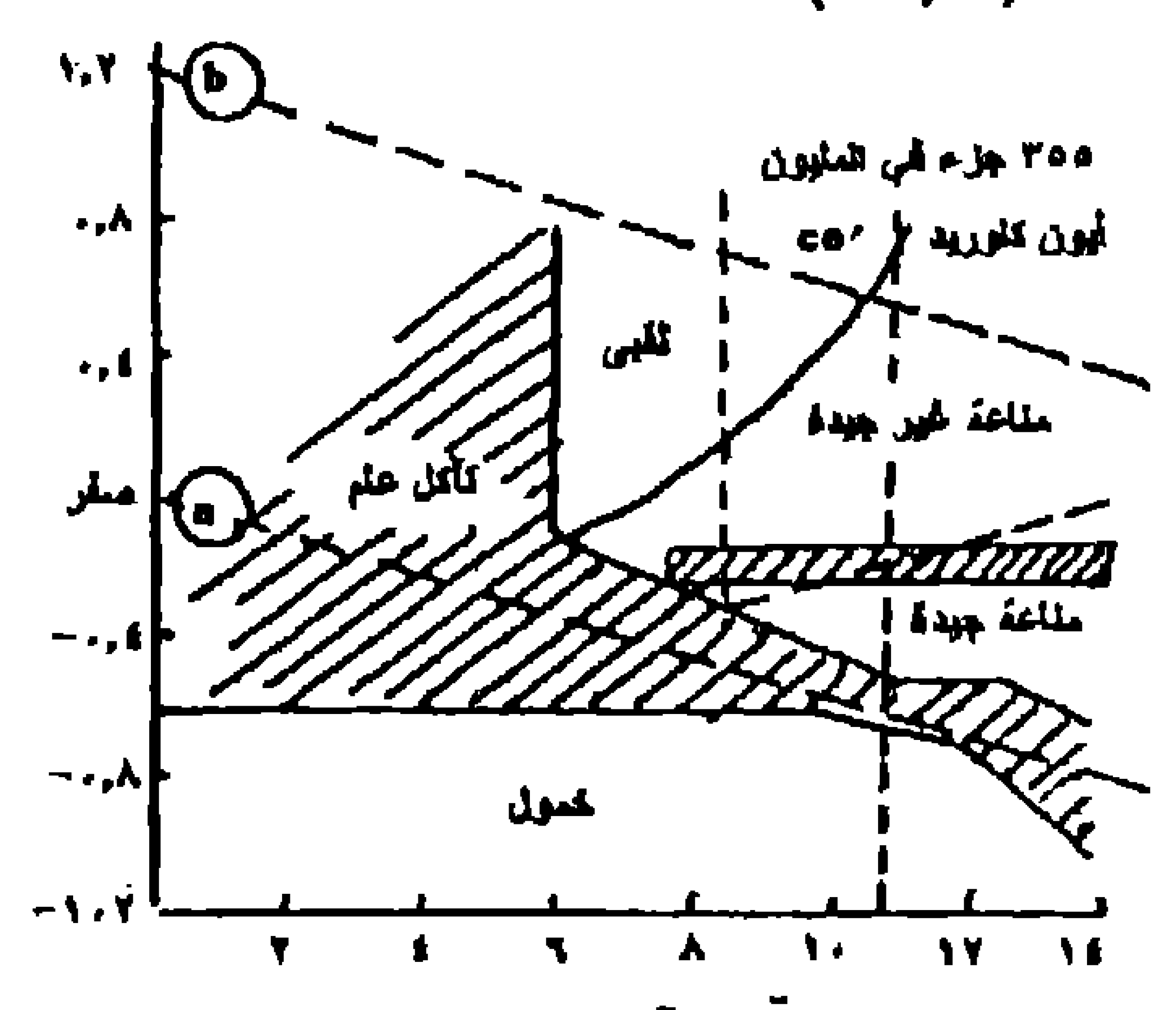
التفاعل الرئيسى لإزالة هذه المناعة هو تفاعل الكربنه (Carbonation) أى تفاعل ثاني أكسيد الكربون من الجو مع القلوى في الخرسانة . بمجرد إستنفاذ الاحتياطى من أيدروكسيد الكالسيوم فإن الرقم الهيدروجينى ينخفض سريعا حيث يمكن عندئذ حدوث التآكل النشط . وهذا يكون عادة مصاحبا لتغير كبير في الجهد في اتجاه زيادة قيمة السلبية .



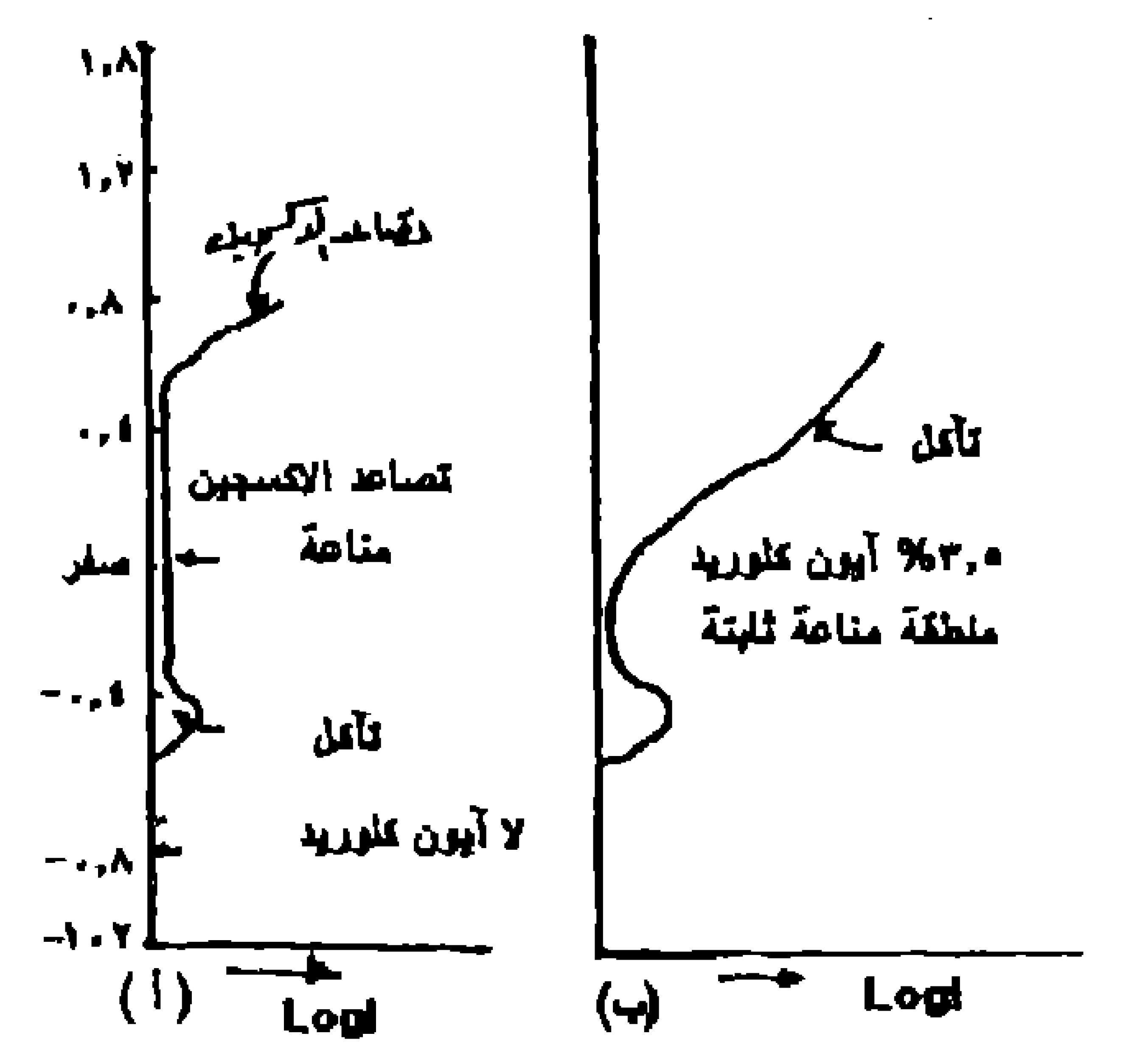
شكل (١٤/١) مناطق التآكل والمناعة للصلب في مجال خالى من الأكسجين

عملية التآكل الموضعى الخطيرة يمكن أن تحدث على المنشآت الخرسانية البحرية، وعلى الكبارى المعرضة للأملاح المزيلة للثلوج، وذلك نتيجة إختراق الكلور إلى حديد التسليح والذى يمكن أن يسبب إزالة المناعة حتى في حالة الرقم الهيدروجينى المرتفع .

حدوث التآكل الثقبى يمكن أن يستمر في الأماكن الآنودية حيث يزداد تركيز أيون الكلوريد ووجود حالات حموضة عالية . في مثل هذه الحالات، يمكن المحافظة على المناعة وذلك بتحريك الجهد نحو منطقة أكثر سلبية ذات مناعة جيدة شكل(١٤/٢) المنحنيات التى تمثل الاستقطاب للصلب في الخرسانة في حالة وجود أو عدم وجود الكلوريد موضح في الشكل (١٤/٣) .

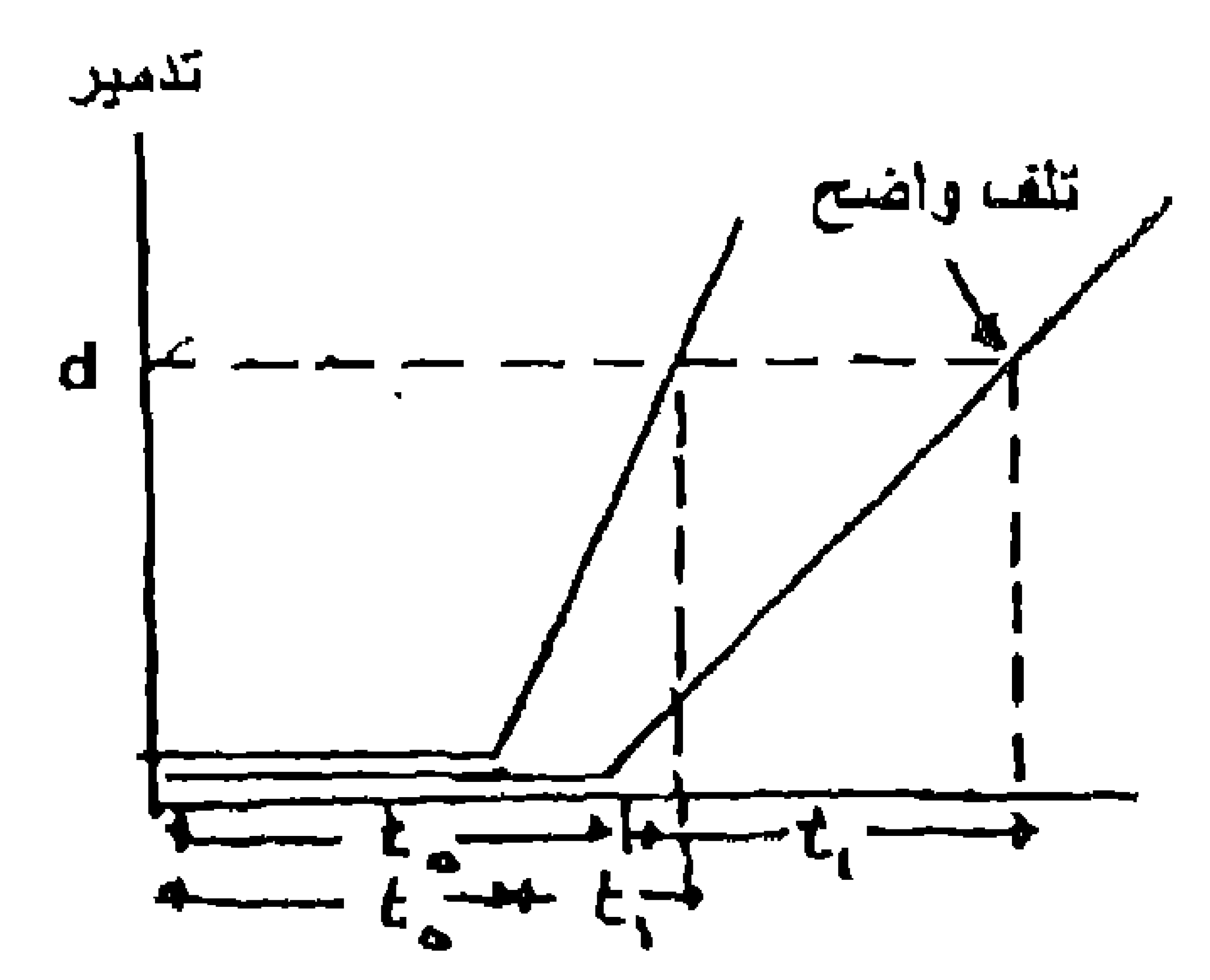


شكل (١٤/٢) تأثير الكلوريد على التآكل والمناعة للحديد في محلول جيد التقليب (مخطط بوربواكسى



شكل (١٤/٣) منحنيا لإستقطاب آنودى للصلب في الخرسانة

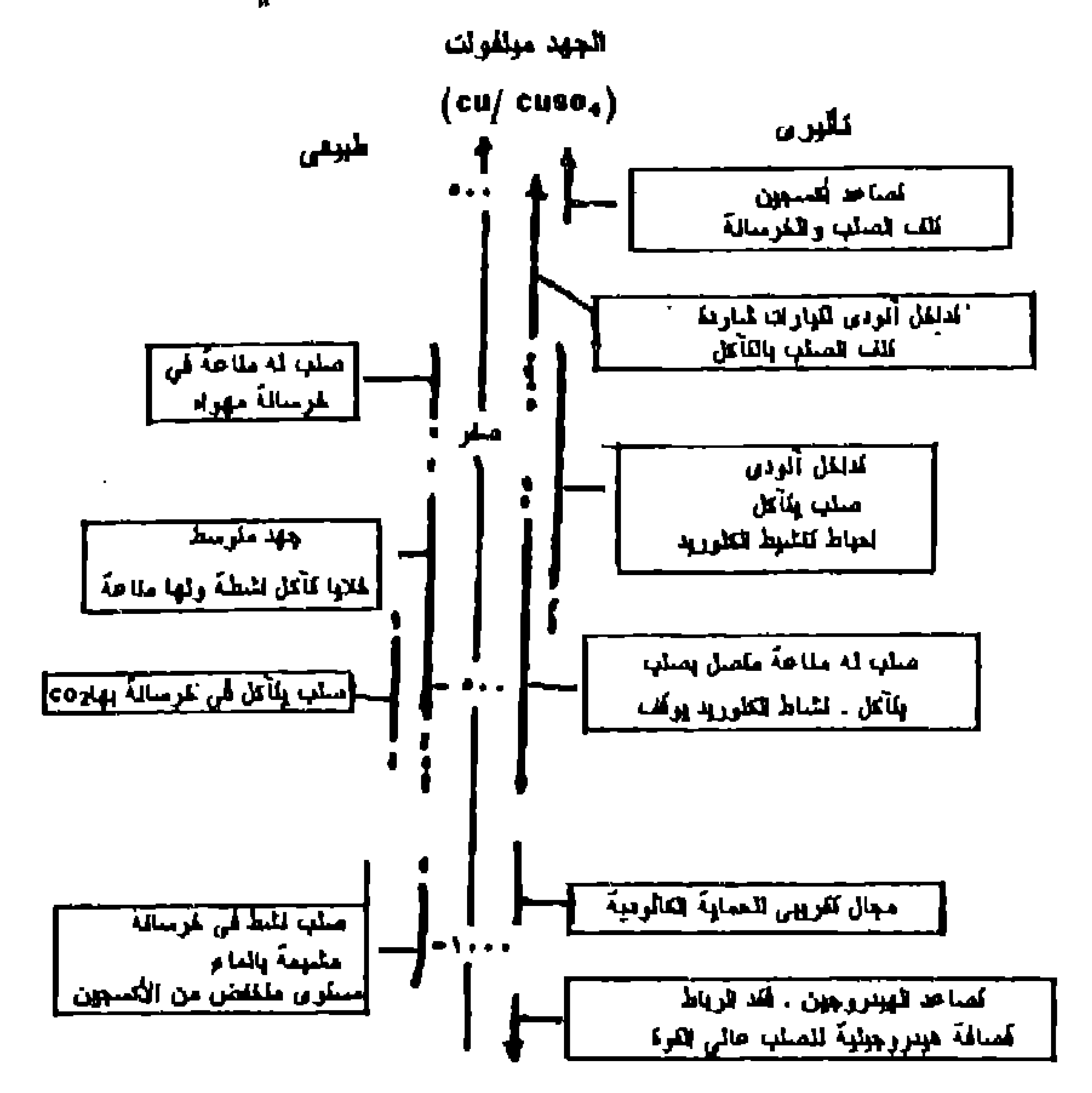
الوقت اللازم لظهور التلف بفعل التآكل يختلف كثيرا طبقا للوقت الذى يستغرقه الصلب ليصبح نشط (t_1) الشكل (١٤/٤) . (t_0) من الواضح أنها تعتمد على السمك وعلى النفاذية لطبقة الخرسانة المغطية للصلب والتى تعتمد على عدة عوامل منها الكمية النسبية للماء، الأسمنت والركام في الخلطة ، تفاصيل الصب والشك والمكونات الكيماوية للمواد الأسمنتية . (t_1) تعتمد على توفر الأكسجين لتغذية تفاعل التآكل، توزيع المساحات النشطة والمساحات ذات المناعة وطبيعة التلف والذى يتراوح ما بين تفكك طبقة الخرسانة بسبب تمدد نواتج التآكل إلى كميات صغيرة من التآكل الموضعى على الأسلاك سابقة الإجهاد .



شكل (١٤/٤) الفترة من التعرض لتلف واضح للخرسانة بسبب تآكل الصلب

في حالة نقص الأكسجين فإن تيار الآنود المتاح قد ينخفض إلى أقل من كثافة التيار اللازمة لتوفير المناعة للصلب ، بحيث يتآكل الصلب النشط في مجال جهد ما بين – ٠,٨ إلى – ١,١ فولت مقاس بالنسبة لقطب النحاس / لكبريتات النحاس القياسى، إلى (–٠,٥ إلى –٠,٨ فولت بالنسبة لقطب الهيدروجين) ولكن عند معدل ضعيف . يمكن أن يحدث هذا في حالة الخرسانة المشبعة تماما بماء البحر . يمكن الحصول على جهود مشابهة بالاستقطاب الكاثودى الذى يستهلك الأكسجين الموجود في الخرسانة . الاستقطاب الآنودى من هذه الجهود السلبية يبين بوضوح مجالات الجهود النشطة وجهود المناعة مثل تلك الموضحة في الشكل (١٤/٣ – أ) ، (١٤/٣– ب) مجالات الجهد للصلب في الخرسانة في الحالات المختلفة للنشاط والمناعة، سواء

كان الحد لأخذ الجهد الطبيعي أو بفعل تيارات الكهربية التأثيرية، ثم وضعها في مخطط بواسطة (Arup) شكل (١٤/٥) . هذه تتوافق تماما بالآلية التى تم مناقشتها، كما تشكل إطار عام مفيد لمناقشة الحماية الكاثودية للصلب في الخرسانة .



شكل (١٤/٥) جهود طبيعية وتأثيرية للصلب في الخرسانة

٣ـ قواعد الحماية الكاثودية في الخرسانة :

من المفترض أن تآكل الصلب في الخرسانة المعرضة لمجال عالى من الكلوريدات يمكن منعه في حالة استخدام الحماية الكاثودية الكافية لخفض الجهد إلى – ٠,٥ فولت (مقاس بالنسبة لقطب النحاس/كبريتات النحاس) . الجهود الأكثر سلبية من (-٠,٧١ إإلى – ٠,٧٧ فولت) مقاس بالنسبة لقطب النحاس/كبريتات النحاس يذكر أنها لإيقاف التآكل في الخرسانة الملوثة بالكلوريد . بالإشارة إلى الشكل (١٤/٥) فإن الأستقطاب في خلال هذا المجال يتوقع أن يمنع التآكل للصلب حتى في حالة المستويات العالية من الكلوريد بينما يظل الرقم الهيدروجينى مرتفع، ولكن ليس في الخرسانة المحتوية على ثاني أكسيد الكربون (Carbonated) أو في حالة إزالة القلويات بالغسيل . لذلك فإنها تكون ذات قيمة عملية محدودة للخرسانة التالفة، رغم أن الحماية

باستخدام الاتصال الكهربي مع الصلب الضحية قد يكون هو الذي يحقق الكفاء لحماية حديد التسليح في الخرسانة المعرضة لمياه البحر .

يبدو أن القاعدة التصميمية المناسبة للحماية هى عند ٠,٨٥ فولت بالنسبة لقطب النحاس/ لكبريتات النحاس، وإن كان كثيرا من الباحثين آشار إلى أن الجهد الأكبر سلبا يكون مطلوب لحدوث حالة الخمول (Immunity) في المجال عالى القلوية . في معظم التطبيقات العملية يكون معدل التآكل للصلب المدفون صغيرا جدا وإن كان التآكل الثقبى للصلب الملتصق بالخرسانة في مياه البحر ثم رصدة عند جهد –٠,٨١ فولت إلى –٠,٩١ فولت مقاس بالقطب العيارى نحاس/ كبريتات نحاس .

رغم أن الشكل (١٤/٥) يوضح مجال الجهد حيث تصاعد الهيدروجين قد يسبب التلف، إلا أنه لا يوجد اتفاق حول زيادة سلبية الجهد، حيث الحد المناسب هو – ٠,١١ فولت وذلك لتجنب فقد الرباط ما بين الصلب والخرسانة . فقد لوحظ تصاعد فقاعات غاز الهيدروجين من الصلب في محلول إيدروكسيد الكالسيوم المشبع، عند جهد – ٠,١١٧ فولت (بالنسبة لقطب النحاس/ كبريتات النحاس) . ولكن وجد أن الاستقطاب عند جهد – ١,٦٢ فولت وبعد حوالى سنتين ونصف أن قوة رباط الحديد مع الأسمنت لم تتأثر ، بينما حدث زيادة في قوة الرباط بنسبة ٦٠% عند الأستقطاب إلى –١,٤٣ المدة عام (بالنسبة لقطب النحاس/ كبريتات النحاس) . الاستقطاب إلى حد هذه الجهود السالبة جدا عمل كذلك على الخفض الكبير لإختراق للكلوريد في الخرسانة . مخاطر القصافة الهيدروجينية لم تظهر كذلك أنها كبيرة رغم أنها تؤثر على الأسلاك سابقة الإجهاد .

كثافة التيار الكاثودى اللازم لتوفير الحماية منخفضة عادة ، نظرا لأن وصول الأكسجين إلى الصلب يعيق الغطاء الأسمنتى . أعلا التيارات أكبر من ٢٠ مليأمبير/المتر المربع استخدمت لأسطح الكبارى الخرسانية ، بينما الخرسانة في التربة تحتاج إلى تيار أقل. في التربة جيدة التهوية وجد أن قيم كثافة التيار للخرسانة الجيدة هى من ٠,٤ إلى ١ مليأمبير على المتر المربع، ١–٢ مليأمبير على المتر المربع

للخرسانة المتوسطة وحتى ٤ مليأمبير على المتر المربع للخرسانة الضعيفة. ولكن أثبتت تطبيقات أخرى أن كثافة التيار حتى ٥ مليأمبير/ المتر المربع لاستقطاب ماسورة خرسانية جديدة وغير تالف بجهد –٠,٨٥ فولت (مقاس طبقا للقطب العيارى نحاس/ كبريتات نحاس) . كما ثبت أن نزول كثافة التيار إلى ٠,٦ مليأمبير/ المترالمربع في أسبوعين للصلب في الخرسانة عالية النوعية في مياه البحر . جهد الصلب في الخرسانة المشبعه بالماء يمكن أن ينزل إلى أقل من –١,٠ فولت (مقاس طبقا للعيارى) وذلك بدون استقطاب خارجي شكل (١٤/٥) وفي هذه الظروف فإن الصلب نفسه يمكن أن يصبح ضحية للصلب المعرض .

٤ـ التطبيقات العملية للحماية الكاثودية للصلب في الخرسانة :

استخدام الحماية الكاثودية لحديد التسليح أو السلك سابق الإجهاد في المنشآت الخرسانية تواجه ثلاث مصاعب أساسية وهى: (١) الربط الكهربى الجيد لكل حديد التسليح أو السلك سابق الإجهاد (٢) توزيع تيار الحماية خلال الخرسانة والتى هى عبارة عن اليكتروليت عالى المقاومة نسبيا (٣) مراقبة الجهود أو التآكل .

المطلب الأول هى مقاومة منخفضة بدرجة معقولة خلال الحديد المدفون . يمكن أن يتم ذلك بدون الربط الكهربى في حالة وضع شبك التسليح في القالب حيث الخرسانة الكثيفة والمدمجة، ولكن قد يكون من الضرورى عمل وصلات كهربية إضافية . ويحدث ذلك خاصة في حالة الأسطوانة الصلب للمواسير الخرسانية سابقة الإجهاد حيث الاتصال المباشر مع لفات السلك سابق الإجهاد ويكون من الضرورى توصيل المقاطع المستقلة لخطوط المواسير .

توزيع التيار المحتمل أن يكون مشكلة صعبة للتعامل معها، حيث في حالات كثيرة عند احتمال حدوث التآكل الخطير فإن الغطاء من الخرسانة هو الإلكتروليت الوحيد المتاح . في هذه الحالات فإن مشكلة الإنخفاض في الفولت (IR drop) يمكن التغلب عليها إما باستخدام آنودات قريبة من بعضها جدا أو بتوفير مجال موصل ملتصق بالخرسانة، ولكن في كلا الحالتين توجد سلبيات من الناحية العملية

والإقتصادية . أحيانا توفر التربة إليكتروليت خارجى كافي للتوصيل لتوزيع التيار بطريقة جيدة . طبيعى، أن الخرسانة المغمورة في مياه البحر يمكن حمايتها كاثوديا بسهولة نسبيا، ولكن الجزء من الخرسانة في المنشأ البحرى الأكثر حاجة إلى الحماية ليس هو المساحة المغمورة ولكن منطقة الطرطشة (Splash Zone) .

كذلك فإن الإنخفاض في الفولت (IR drop) يسبب مشكلة نحو مراقبة ورصد جهود الحماية، رغم أنه في حالة نظام التيار التأثيرى فإنه يمكن إيقاف وتوصيل التيار لإعطاء قيمة قطع التيار (Current Off Value) لمساحات محدودة . رصد معدل التآكل لتقييم تأثير الحماية الكاثودية هى مشكلة صعبة من الناحية العملية، فقد استخدمت أسلاك المقاومة الكهربية المتصلة بحديد التسليح ومدفونة في الخرسانة، أحيانا، أحيانا يكون الدفن في خرسانة ملوثة بالكلوريد، ولكن يوجد شك حول مدى الإعتماد على سلك المقاومة لتمثيل التسليح أو السلك سابق الإجهاد في المنشأ ككل .

٥ـحماية المنشآت وخطوط المواسير على الشاطئ:

(Protection Of Onshore Pipelines And Structures)

أ- حماية المنشآت المدفونة :

لقد استخدمت الحماية الكاثودية لسنين كثيرة لخطوط المواسير الخرسانية سابقة، الإجهاد المدفونة وكذلك الخزانات حيث الغطاء الخرسانى لا يتوقع أن يوفر الحماية الكافية للصلب . بسبب الصعوبة المرتبطة باستخدام الحماية الكاثودية للمنشآت المدفونة في وقت لاحق، فإنه يوصى عادة بعمل أطراف توصيل، أقطاب قياسية ثابتة .. الخ وذلك لإمكان حماية المنشأ عند الضرورة .

يتم رصد الجهود باستخدام أقطاب قياسية والتى هى قطب النحاس/كبريتات النحاس، المدفونة قريبا من المنشأ . مساحة السطح التى يتم رصد متوسط جهدها تتوقف على مقاومة الخرسانة والتربة المحيطة أو مادة الردم (Back Fill) . جهد الحماية المقاس عند قطع التيار قيمته – ٠,٩ فولت هو الموصف عادة وإن كان الجهد السابق توصيفه –٠,٥ فولت (معاير بالقطب العيارى) قد استخدم كذلك .

ب- أسطح الكبارى: (Bridge decks)

في العقود الماضية زاد الاهتمام بالحماية الكاثودية للصلب في الخرسانة

وخاصة بالنسبة لأسطح الكبارى حيث التآكل ينشط بفعل الكلوريدات من أملاح إذابة الثلوج . لقد استخدمت طريقة الحماية الكاثودية باستخدام آنودات التيار التأثيرى والتى تكون عادة من الحديد عالى السيليكون ، حيث توضع على الخرسانة وتغطى بطبقة موصلة من الكوك – الأسفلت الأسمنتية يليها طبقة برى من الأسفلت الشكل (١٤/٦) . كثافات التيار تتراوح من ١,٤ ملليأمبير/ المتر المربع إلى ٧,٥ ملليأمبير/ المتر المربع وهذه تتيح جهود أكثر سلبية عن –٠,٨٥ فولت بقطب النحاس/كبريتات النحاس . الحماية بالآنود الضحية لأسطح الكبارى تمت باستخدام إما شرائط من آنودات الزنك توضع في أخرام والردم باستخدام عجينة من الأسمنت البورتلاندى المحتوى على الكلوريد أو باستخدام صحيفة مثقبة من الزنك مدفونة في طبقة المونة أعلا السطح . كلا الطريقين لا يحدثا إستقطاب للسطح لأفضل من ٠,٥ فولت (مقاس لقطب النحاس القياسى) رغم أن كثافات التيار حتى ٢٣ ملليأمبير على المتر المربع تم قياسها. من المحتمل أن عمل خيران في الخرسانة حتى خلال ٢٥ مليمتر من التسليح والردم بمونه مساميه سهل وصول الأكسجين إلى التسليح بالدرجة الكافية لهذه الكثافات العالية من التيار مقارنة بالمنشآت الأخرى .

حـ- حماية المنشآت البحرية: (Protection Of Marine Structures)

الجزء من أى منشأ خرسانى بحرى الأكثر عرضه للتلف بفعل التآكل هى منطقة الطرطشه (Splash Zone) والتى كما في حالة أسطح الكبارى تكون معرضة لتركيزات عالية من الكلوريد والهواء . ولكن مشكلة استخدام الحماية الكاثودية أكثر صعوبة مقارنة بالكبارى، ويبدو أنه من غير الملائم أنها تستخدم لمنع أو رصد التآكل في الأجزاء من المنشأ الخرسانى البحرى فوق منطقة المد والجذر .

يوجد بعض من الدراسة لحالات الحماية الكاثودية المستخدمة مباشرة للأجزاء المغمورة من المنشأ الخرسانى البحرى، ذلك رغم وجود حالات كثيرة حيث تيارات الحماية الكاثودية أو الصلب المتصل (Coupled) الذى يتآكل قد عملت عن غير قصد على استقطاب الصلب المغمور في خرسانة انشاءات الميناء ومنشآت الشاطئ

الأخرى. لقد كانت الحماية الكاثودية الغير مؤكدة للأرصفة والمنصات الخرسانية لإنتاج البترول هى التى أظهرت هذه المشكلة، حيث تم اقتراح طريقتين وهما إما العزل الكامل الصلب المدفون من العناصر التى تم حمايتها كاثوديا أو القبول وفي الحقيقة التأكيد أن التسليح هو جزء مكمل من نظام الحماية .

توجد شواهد قليلة حول أن الحماية العامة للصلب في الخرسانة تحت الماء ضرورية ولكن عزل التسليح لم يلق ترحيبا . قد يكون ذلك بسبب المشاكل الكبيرة نتيجة التأكيد على عدم حدوث ألتصاق وتجنب تداخل التيار الشارد مع تيارات الحماية الكاثودية التى تحمى حديد التسليح الخارجي . حديد التسليح المدفون المتصل بنظام حماية كاثودية خارجي يمكن أن يحدث له الاستقطاب نحو مجال الجهد النشط، رغم أنه كما ذكر سابقا توجد شواهد قليلة أن هذا سوف يؤدى إلى تآكل ملموس . ولكن في حالة قبول الاستقطاب الكاثودى للصلب المدفون، فإن الإتصال الكهربى المناسب هو المفضل بدلا ن الإعتماد ببساطة على الاتصالات العشوائية، حتى يوصى بجهد إجمالى من ٥٠ إلى ١٠٠ مليفولت أكبر سلبا عن المستوى العادى للصلب في ماء البحر .

التيار المطلوب لحماية الصلب في الخرسانة المغمورة في ماء البحر يختلف كثيرا مع الوقت والمكان . الخرسانة المغمورة حديثا تكون محتوية على الأكسجين الكافى لمساعدة التفاعل الكاثودى لبعض الوقت، لمدة من عام إلى عامين في المقاطع السميكة.ولكن،الجهد الطبيعى للخرسانة التامة الغمر سوف تصبح سالبة شكل(١٤/٥)، والتيار الكاثودى المطلوب سيكون صغيرا جدا عدا في حالة أن مستوى الجهد يكون سالبا بما يكفى لتصاعد الهيدروجين . يمكن زيادة الإمداد المؤثر بالأكسجين للأجزاء المغمورة للمنشأ وذلك بالتسرب من السطح المعرض للهواء، كمثال في حالة البرج الجاف للمنصة البعيدة عن الشاطئ (Off Shore) أو الخرسانة في منطقة المد والجذر .كثافة التيار المقترحة التصميمية تكون ٢ مليأمبير/المتر المربع وهى يحتمل أن تكون أكثر من ملائمة لمنصة المياه العميقة حيث منطقة المد والجذر هى فقط جزء صغير من كل مساحة الخرسانة ومقاطع الجدار تكون سميكة جدا . وهذا يتوافق مع التوصية الخاصة بالتجاوز لـــ ٠,٥٠ إلى ١ مليأمبير/المتر المربع .

٦ـ الموجز:

الاستقطاب الكاثودى يمكنه منع التآكل للصلب المدفون في الخرسانة الملوثة بالكلوريد وذلك بالمحافظة على الجهد في المجال من (-٥٠٠ مليفولت) إلى تقريبا (-٧٧٠ مليفولت) مقاس بالنسبة للقطب العيارى النحاس/كبريتات النحاس، ذلك لأن المناعة تستبقى . في حالة الخرسانة المدمرة و المكربنه فإن الجهود أكبر سلبا عن (-٩٠٠ مليفولت) تكون مطلوبة لتأكيد توقف التآكل .

المقاومة العالية للخرسانة تجعل عملية الاستخدام التطبيقى للحماية الكاثودية في غاية الصعوبة وذلك في حالات احتمالات التلف بفعل التآكل . يمكن أن يحدث التآكل الحاد جدا في منطقة الطرطشة على المنشآت البحرية وعلى الكبارى المعالجة بالملح المزيل للثلج . استخدمت الحماية الكاثودية بدرجات نجاح متفاوتة لخرسانة أسطح الكبارى باستخدام أغطية أو طلاءات موصلة أو آنودات ذات فواصل متقاربة جدا، ولكن نفس الطريقة غير مناسبة للمنشآت البحرية .

استخدمت الحمايةالكاثودية كثيرا لخطوط المواسير المدفونة والخزانات المدفونة، حيث يمكن استخدام التربة أوالردم الموصل لتوزيع التيار . مياه البحر توفر مجال موصل أفضل ولكن تآكل الصلب المدفون في الخرسانة المغمورة نادرا ما يمثل مشكله لجواز استخدام الحماية الكاثودية. حديد التسليح والسلك سابق الإجهاد يمكن إدخالهم في الحماية الكاثودية بتوفير الصلب الغير مغطى في ماء البحر إما عن طريق الصدفة أو الإتصال المدير لتجنب تداخل التيار الشارد .

تمثل عملية رصد كفاءة الحماية الكاثودية وتأثيرها على المنشأ الخرسانى مشاكل كبيرة . القطب القياسى (Reference Electrode) المستخدم على سطح الخرسانة يمكن أن يقيس جهد الصلب القريب منه . المجال الملاصق الموصل الذى يساعد في توزيع تيار الحماية الكاثودية يزيد كذلك من المساحة التى يتم فيها قياس متوسط الجهد. الجهود يجب قياسها باستخدام وصل التيار (Current Switch Off) . استخدام أسلاك المقاومة المدفونة في الخرسانة لرصد كفاءة الحماية الكاثودية يجب التعامل معها بمنتهى الحرص، وخاصة إذا كان تم إضافتها بعد استكمال المنشأ ببعض الوقت .

المحتويات

المقدمة : ٧

الفصل الاول : **الأعمال المساحية لمقاومة التربة**... ١٣

الفصل الثاني : **أبحاث الجهد** ٢٧

الفصل الثالث : **تيارات الخط**... ٣٩

الفصل الرابع : **متطلبات التيار لأعمال المباحث**.. ٤٧

الفصل الخامس : **تظلم تحويل التيار المتغير إلى تيار مستمر**............................ ٥٧

الفصل السادس : **تصميم الطبقة الأرضية وإنشائها**.. ٦٧

الفصل السابع : **الأنودات الجلفنيه على الخطوط المغطاه**............................... ٨٥

الفصل الثامن : **حماية النقطة الساخنة**... ٩٥

الفصل العاشر : **التداخل في الحماية الكاثودية**.. ١٢١

الفصل الحادي عشر : **التشغيل والصيانة**.. ١٣٧

الفصل الثاني عشر : **التفتيش والاختبار لطبقة التغطية**................................... ١٤٩

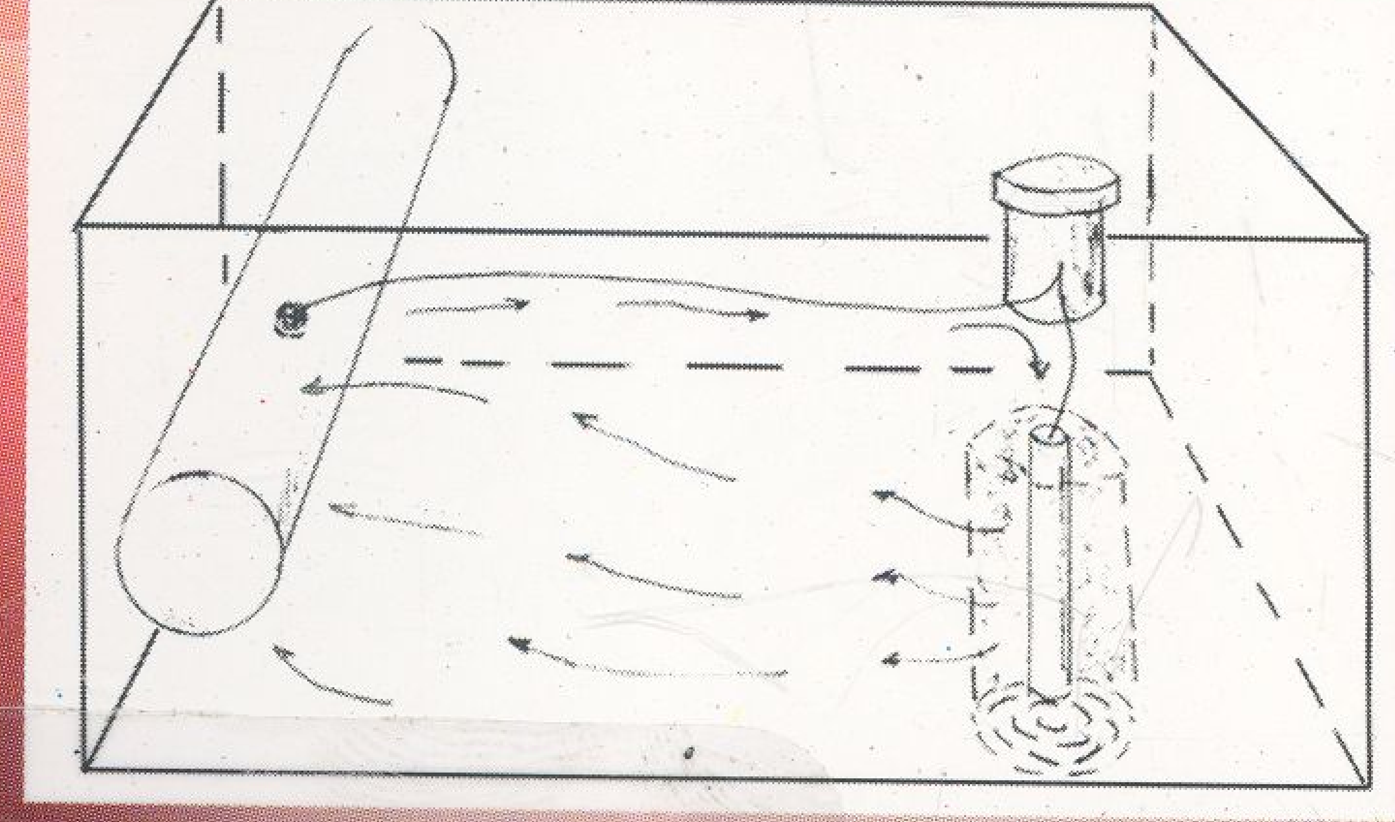
الفصل الثالث عشر : **الحماية الكاثودية لخطوط المواسير تحت سطح البحر**....... ١٦١

الفصل الرابع عشر : **الحماية الكاثودية للمواسير والمنشآت الخرسانية**.............. ١٧٣

الحماية الكاثودية لخطوط المواسير

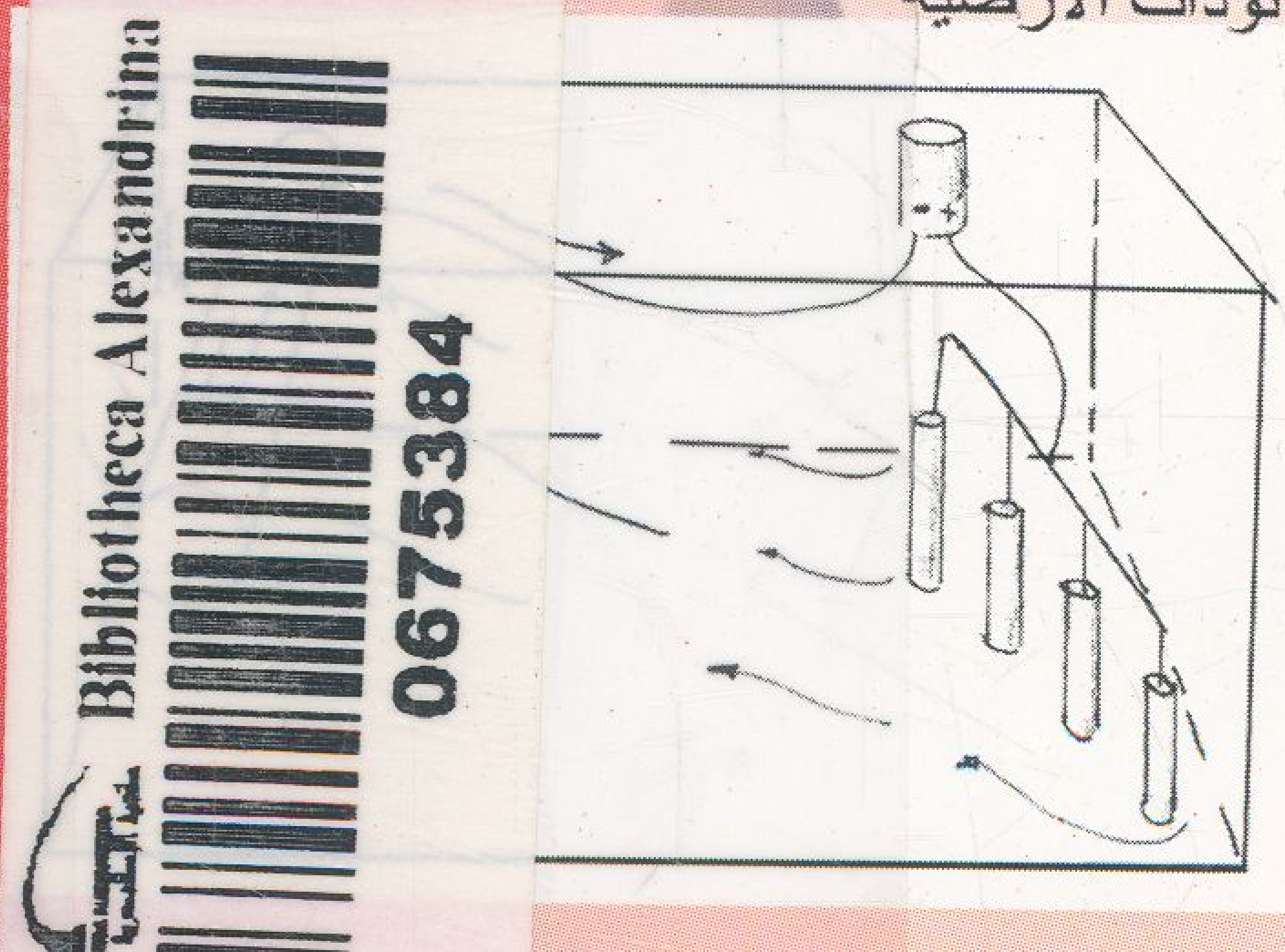
الحماية الكاثودية هي من التقنيات المتطورة لحماية المنشآت المعدنية من التآكل والتلف، والذى له عائد اقتصادي نحو المحافظة على استمرار صلاحية خطوط المواسير الحاملة للبترول أو ال غاز أو الماء المدفونة تحت سطح الأرض الحماية الكاثودية تتطلب تغذية المنشأ المعدني بتيار مستمر أو بأنودات نشطة، ولهذا فإن تخصص مهندس الحماية الكاثودية قد يكون مهندس كهرباء أو مهندس كيماوي أو كيماوي أو ذو تخصص آخر وفي جميع الحالات فإن المعرفة العلمية بتقنيات الحماية الكاثودية وإن كانت مطلوبة إلا أن الممارسة العملية واكتساب الخبرة هي من العوامل الأساسية لنجاح توفير الحماية

الحماية الكاثودية تتم لجميع المنشآت المعدنية سواء فوق سطح الأرض أو تحت سطح الأرض أو في مياه البحر وفي هذا الإصدار تم تناول موضوع شديد الأهمية وهو حماية خطوط المواسير تحت سطح الأرض، حيث تختلف عدوانية التربة من مكان إلى آخر الحماية الكاثودية تتم مع بعض طرق الحماية الآخرى ومنها التغطية للأسطح الخارجية بمواد التغطية للحماية من التآكل وكذلك مراعاة الاعتبارات الهامة نحو التصميم الهندسي للخطوط وتفادي التربة شديدة العدوانية ما أمكن وهكذا





وقد تم في هذا الإصدار تناول الحماية الكاثودية لخطوط المواسير تحت السطح الأرضي في أثني عشر فصلاً حيث شمل المحتوى لهذا التخصص من قياسات لجهد التربة والتيارات الكهربية واحتياجاتها ونظم تعديل التيار والقواعد التصميمية لطبقة الآنودات الأرضية والتيارات الشاردة وأثرها على الحماية الكاثودية وكذلك أعمال الرصد والتشغيل والتفتيش والصيانة للخطوط ومعدات وتجهيزات الحماية الكاثودية وكذلك تم تناول الحماية الكاثودية لخطوط المواسير تحت سطح البحر والمواسير الخرسانية والدافع لهذا الإصدار هو إثراء المكتبة العربية بالتقنيات الحديثة في مجال الحماية الكاثودية



ISBN 977-287-487-3
9 789772 874873

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة
☎ ٧٩٥٤٢٢٩
WWW sbheg.com
e-mail: sbh@link.net